

EIN AUTOMATISCHES KORONAPHOTOMETER

Hans Reiner H~~ü~~gel

1975
—

Ein automatisches Koronaphotometer

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
des Fachbereichs Physik
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Hans Reiner Hügel

München 1975



1. Referent: Prof. Dr. P. Wellmann

2. Referent: Prof. Dr. H. G. Groth

Tag der mündlichen Prüfung: 14 Juli 1975

Inhaltsübersicht

	Seite
Zusammenfassung	
1 Einleitung	1
1.1 Visuelle Meßmethode	1
1.2 Linienprofilmessungen	3
1.3 Filtermessungen	5
2 Die Meßapparatur	8
2.1 Anforderungen und vorhandene Ausrüstung	8
2.2 Meßvorgang und Photometer	8
2.3 Sonnenanschluß	11
2.4 Multipliierverstärker, Netzgerät	13
2.5 Verstellbare Blende	15
3 Steuersystem	17
3.1 Vorfiltersteuerung	19
3.2 Steuerung Positionswinkel (Drehantrieb)	21
3.3 Prozeßsteuerung, Rechenprogramm	23
3.3.1 Programmierung	25
3.3.2 Steuerbefehle	27
3.3.3 Speicher, Schreiber	28
3.3.4 Befehlsspeicherprogramm	29
4 Messungen	34
4.1 Meßgenauigkeit	34
4.1.1 Fehler der Anschlußwerte	34
4.1.2 Fehler der Intensitätswerte	35
4.2 Meßergebnisse	37
4.2.1 Erste Testmessungen	37
4.2.2 Koronamessungen mit dem fertigen Gerät	39
5 Literaturverzeichnis	62
6 Abkürzungen	62



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Zusammenfassung

Zur Ermittlung der Koronalinienintensität gibt es verschiedene Verfahren: Schätzung der Intensität nach einer visuellen Methode, photographische Messungen und photoelektrische Messungen.

In der vorliegenden Arbeit ist ein Photometer besprochen, daß an ein Lyot-Filter angeschlossen ist. Das Koronabild kann mit einer Blende abgetastet werden. Die Entfernung der Blende vom Rand des Sonnenbildes kann kontinuierlich verschiebbar eingestellt werden. Ein automatisches System, von einem Prozeßrechner gesteuert, mißt und berechnet die Koronalinienintensität rund um den Sonnenrand. Das Himmelsstreulicht wird an jeder Stelle mitberücksichtigt, sodaß sich sehr genaue reproduzierbare Messungen ergeben.

Abschließend wird eine Reihe von Koronamessungen angegeben.

1 Einleitung

Die Intensität der Sonnenkorona kann von der Erde aus durch den Lyot'schen Koronographen gemessen werden. Im folgenden werden zunächst für die Messung der Koronalinienintensität mit dem Koronographen einige Methoden beschrieben.

1.1 Visuelle Meßmethode

Das an der Kegelblende vorbeigehende Licht wird in der Bildebene des Koronographen durch einen Spalt örtlich ausgeblendet und in einem Spektrographen zerlegt. Die Lichtintensität der Koronalinie wird geschätzt. Durch Abtasten des Sonnen- bzw. Kegelblendenrandes mit dem Spalt können die verschiedenen Positionen der Korona an der Sonne eingestellt werden. Dieses zu Anfang der Koronabeobachtung angewandte Verfahren verlangt, daß das Himmelsstreulicht, dessen Lichtintensität sich zu der Koronaintensität addiert, nachträglich berücksichtigt wird.

Bei der bis jetzt auf dem Wendelstein verwendeten Beobachtungsmethode wird die Helligkeit der grünen Koronalinie im Vergleich zum spektroskopischen Untergrund geschätzt und in Werten von 1 bis 60 angegeben. Diese Werte sind in einer "Gedächtnisskala", analog den älteren astronomischen Größenklassen, festgelegt. Der zum Sonnenrand tangentielle Spalt des Spektroskops ermöglicht einen Überblick über einen größeren Winkel (ca. ± 10 Grad) an der Sonne. Nach jeder Meßreihe wird das Streulicht mit einer Photozelle gemessen. Diese wird dazu am Spektroskop an der Stelle des Okulars angebracht. Für den üblichen Anschluß der Schätzwerte an die Sonnenhelligkeit wird noch der Photostrom des abgeschwächten Sonnenlichtes gemessen. Dazu wird der Koronograph so verstellt, daß die Sonne nicht durch die Kegelblende verdeckt ist. Der Hauptnachteil des visuellen Schätzungsverfahrens ergibt sich durch die "Gedächtnisskala". Sie ist normalerweise individuell verschieden und kann

nur durch langjährige Übung reproduzierbar gemacht und durch umfangreiche Vergleiche auf andere Beobachter übertragen werden. Die Genauigkeit der Schätzung ist vom Beobachter abhängig, und die Skalenabstufung ist zu grob. Der kleinste Schätzwert 1 ergibt bei geringem Streulicht nach Umrechnung auf die übliche Absolutwertskala (siehe Seite 11) den Wert 12. Das reicht nicht aus, um die Korona an intensitätsschwachen Stellen zu beschreiben. In Abschnitt 4 (Seite 34) wird hierfür ein Beispiel angegeben. Es ist erstaunlich, daß trotz Fehlerquellen bei den schätzbaren Werten ein größenordnungsmäßig richtiges Ergebnis festgestellt werden kann.

Die "Gedächtnisskala" kann jetzt, wie z. B. in Arosa[†], unterstützt werden, indem die zu messende Linie mit einer durch optischen Keil abschwächbaren künstlichen Linie verglichen wird. Hierzu verwendet man bei der grünen Koronalinie λ 5303 Å die Thalliumlinie λ 5350 Å und bei der roten Koronalinie λ 6374 Å eine in der Nachbarschaft liegende Neonlinie. Die Thallium- bzw. Neonlampe wird von Zeit zu Zeit an der abgestuft abgeschwächten Sonnenscheibe geeicht. Letzteres Verfahren kann nur bei Spektrographen mit geringer Dispersion angewendet werden, weil die Koronalinien wesentlich breiter sind als die dazugehörigen Vergleichslinien.

Auch die Station auf dem Pic du Midi verwendet eine vergleichende Methode. Man vergleicht die Helligkeiten der Koronalinie und einer künstlichen Linie. Eine von der Sonne bestrahlte weiße Kreidefläche dient als diffuse Lichtquelle. Durch ein Farbfilter wird dieses Licht in Form einer Linie in der Bildebene eines Spektrographen dem dort erscheinenden kontinuierlichen Streulichtuntergrund überlagert; es sind zwei vergleichbare Linien sichtbar. Durch einen geeichten Graukeil wird die Intensität der künstlichen Linie der Intensität der Koronalinie angeglichen. Das Verfahren ist vom Streulicht und der atmosphärischen Absorption unabhängig, da diese Faktoren die Koronalinie und die künstliche Linie in gleicher Weise beeinflussen. Es ergibt sich der erhebliche Vorteil, daß keine "Gedächtnisskala" mehr

[†] Observatorium Arosa der Eidgen. Sternwarte in Zürich

notwendig ist und atmosphärische Bedingungen bei der Wertermittlung keinen wesentlichen Einfluß mehr haben. Die Vergleichsanpassung der beiden Linien ist zwar immer noch eine subjektive Schätzung, fällt aber nicht mehr so negativ ins Gewicht, wie die "Gedächtnisskala". Ein großer Nachteil liegt in der Kompliziertheit der Meßapparatur, die somit Anlaß für erhebliche Fehlerquellen sein kann. Die Skala des Graukeils ist in Einheiten der Äquivalentbreite geeicht.

Die Einheit 1 Äquivalent-Å für die Linienhelligkeit bedeutet, daß die Einstrahlung der Linie in den Spektrographen genauso hell ist, wie die Einstrahlung von einem Å des Spektrums der Sonnenmitte bei der gleichen Wellenlänge. Dabei wird gefordert, daß innerhalb der 1 Å-Bandbreite des Sonnenspektrums keine Fraunhofer-Linien sind.

Es muß hier betont werden, daß die Übereinstimmung von Koronameßreihen bei unterschiedlichen Stationen recht dürftig ist. Dies dürfte vorwiegend an der Schwierigkeit von Koronamessungen liegen. Schon bei recht guten Wetterbedingungen, aber variablem Himmelsstreulicht können sehr leicht Fehlmessungen entstehen. Es wurde deswegen der Versuch gemacht, eine Meßapparatur zu entwickeln, die ein genaueres und objektiveres Ergebnis bei höherer Meßgeschwindigkeit erbringt.

1.2 Linienprofilmessungen

Wird das Koronalicht in einem gut auflösenden Spektrographen zerlegt, so kann neben der Helligkeit auch die Breite und das Profil einer Linie ermittelt werden. Die Koronalinien werden auf einer photographischen Platte aufgenommen, und diese Aufnahme wird dann in einem Schnellphotometer analysiert. Das Verfahren ist sehr genau, da das Streulicht automatisch berücksichtigt werden kann. Wie in Abb. 1-1 baut sich die Linie auf dem Kontinuum (Streulicht) auf; die schraffierte Fläche wird gemessen und im Vergleich zu 1 Å Kontinuumbreite angegeben.

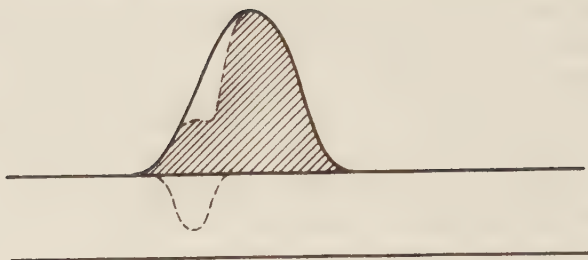


Abb. 1-1

Zur Normierung der Intensitätswerte und als Vergleichsspektrum wird eine Aufnahme von der abgestuft abgeschwächten Sonnenmitte gemacht.

Die Meßmethode hat den besonderen Vorteil, daß Fraunhofer-Linien mit berücksichtigt werden können. So beeinflusst z. B. die Fraunhofer-Linie $\lambda 5302,3 \text{ \AA}$ die grüne Koronalinie $\lambda 5302,9 \text{ \AA}$. In Abb. 1-1 ist dieser Vorgang schematisch durch die gestrichelten Linien gezeichnet.

Das obige Meßverfahren kann noch verbessert werden, wenn man statt der photographischen Platte einen verschiebbaren Multiplifier setzt. Die Auswertung der Messungen wird wesentlich verkürzt, und Fehler, welche durch die Photographie entstehen, können vermieden werden. Trotzdem erscheint das Verfahren für Routinebeobachtungen ungeeignet. Mit dem Spektrographen kann immer nur ein kleiner Ausschnitt am Sonnenrand aufgenommen werden. Somit kommt man bei den heute üblichen 5 Grad-Schritten auf 72 Spektrogramme, wenn man sich auf nur eine Entfernung vom Sonnenrand beschränkt.

1.3 Filtermessungen

Wird zur Ausfilterung einer Linie statt des Spektrographen ein genügend großes Schmalbandinterferenzfilter benutzt, so kann die gesamte Korona auf einmal sichtbar gemacht werden. Dies ist für die Beobachtung sehr nützlich, da besondere Strukturen wesentlich besser überblickt werden können. Die Korona kann ähnlich wie bei einer Sonnenfinsternis beobachtet werden. Zur Messung der Koronaintensität kann man sich zweier Verfahren bedienen:

- a) Photographieren der Korona und anschließende Bearbeitung des Films mit einem Schnellphotometer. Hier müssen auf dem gleichen Film Graustufen aufgenommen werden, um Schwärzungskurve und Anschluß an die Sonnenmitte festzustellen.
- b) Abtasten des Koronabildes durch ein photoelektrisches Meßverfahren. Hier wird das Bild der Korona durch eine Blende rund um die Sonne in verschiedenen Entfernungen lichtelektrisch gemessen und auf einen Schreiber übertragen.

Der Vorteil des besseren und schnelleren Überblicks wird bei den heute üblichen Filtern durch zwei Nachteile erkauft:

- a) Die meisten Filter sind auf diskrete Wellenlängen beschränkt, wodurch die Beobachtung mehrerer Linien zu einem erheblichen Aufwand führt. Entweder man verwendet die sehr teuren Lyot-Filter, welche durchstimmbar sind, oder man benutzt mehrere Filter.
- b) Die Information über die Linienbreite geht verloren. Dadurch wird auch bei genauester Messung ein Fehler unvermeidbar, da die Linienbreite durch die Faltung mit der Filterkurve in den Intensitätswert mit eingeht.

Die Intensität des Sonnenkontinuums sei auf 1 normiert und das Profil einer Koronalinie durch $J(\lambda)$ gegeben. Dann ist die Gesamtlinienintensität $K_{\odot}$ oder entsprechend die Äquivalentbreite gegeben durch:

$$K_{\odot} = w_{\lambda} = \int_{-\infty}^{\infty} J(\lambda) d\lambda \quad (1-1)$$

Wie in Abb. 1-1 gezeichnet, baut sich die Linie auf konstantem Streulicht S auf; wird dieses allein durch ein Filter mit dem Profil $F(\lambda)$ gemessen (Messung benachbart außerhalb der Linie), so erhält man:

$$\text{Streulicht } S' \text{ gemessen: } S' = \int_{-\infty}^{\infty} S \cdot F(\lambda) d\lambda \quad (1-2)$$

Die Messung in der Linie ergibt:

$$S' + K' = \int_{-\infty}^{\infty} (S + J(\lambda)) \cdot F(\lambda) d\lambda \quad (1-3)$$

$$\text{oder } S' + K' = \int_{-\infty}^{\infty} S \cdot F(\lambda) d\lambda + \int_{-\infty}^{\infty} J(\lambda) \cdot F(\lambda) d\lambda$$

Durch Subtraktion des konstanten Streulichtes erhält man die durch das Filter gemessene Koronaintensität:

$$K' = \int_{-\infty}^{\infty} J(\lambda) \cdot F(\lambda) d\lambda \quad (1-4)$$

Hieraus ist ersichtlich, daß der gemessene Wert K' mit einem Korrekturfaktor

$$k = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} J(\lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} J(\lambda) \cdot F(\lambda) d\lambda}$$

multipliziert werden muß, um die Linienintensität K_0 darzustellen. Aus dem theoretischen Verlauf der Koronalinie und der Filterdurchlaßkurve ersieht man, daß eine Annäherung durch Gaußprofile möglich ist, ohne dabei einen größeren Fehler zu machen.

$$\text{Mit } J(\lambda) = J_0 e^{-\frac{4 \ln 2}{h_1^2} \lambda^2} \quad \text{und} \quad F(\lambda) = e^{-\frac{4 \ln 2}{h_f^2} \lambda^2}$$

ergibt sich für k

$$k = \sqrt{1 + \frac{h_1^2}{h_f^2}} \quad (1-5)$$

wobei h_1 und h_f die Halbwertsbreiten von Linie und Filter

bedeuten. Für eine mittlere Linienhalbwertsbreite von
 $0,86 \pm 0,14 \text{ \AA}$ (1-6)
und einer Halbwertsbreite von $1,17 \text{ \AA}$ für das Filter ergibt
sich z.B. $k = 1,24 \pm 6 \%$. (1-7)

Aus Abb. 1-1 kann auch ersehen werden, wie sich eine Fraunhofer-Linie auf einen Meßwert auswirkt. Die Fläche, welche durch die Absorptionslinie gegeben ist, muß durch die Fläche der Emissionslinie ausgeglichen werden. So ergibt sich bei bekannter Filterdurchlaßkurve und gegebenem Linienprofil der Absorptionslinie $\lambda 5302,31 \text{ \AA}$ (aus Atlas des Sonnenspektrums) in bezug auf die grüne Koronalinie $\lambda 5302,86 \text{ \AA}$ ein Korrekturfaktor von etwa
 $n = 0,957$ (1-8)
für das gemessene Streulicht, wenn dieses bei der Wellenlänge $\lambda 5379,0 \text{ \AA}$ ermittelt wird.

Die Werte (1-7) und (1-8) wurden von Herrn Spannagl zur Verfügung gestellt.

2 Meßapparatur

2.1 Anforderungen und vorhandene Ausrüstung

Das bislang auf dem Wendelstein zur Routinebeobachtung angewendete Verfahren der Koronaschätzung sollte durch ein Meßverfahren abgelöst werden, welches von der Person des Beobachters unabhängig ist. Außerdem sollten auch genauere Strukturuntersuchungen der Korona in verschiedenen Entfernungen vom Sonnenrand möglich sein. Ganz besonders wichtig ist auf dem Wendelstein eine schnelle Meßdurchführung, damit auch brauchbare Wetterperioden von kurzer Dauer ausgenutzt werden können.

Zur Verfügung stand der 20 cm-Koronograph, der durch einfache mechanische Bedienung wahlweise im Coudé-Fokus oder mit Direktausgang eingestellt werden kann. Im Direktausgang des Koronographen ist ein Lyot-Filter der Firma Zeiss für die grüne Koronalinie λ 5302,86 Å mit einer Halbwertsbreite von 1,17 Å montiert. Durch Vorfiltertausch kann zur Beobachtung des photometrischen Untergrundes (Streulicht) auch die Wellenlänge λ 5379,0 Å (Nebenmaximum des Lyot-Filters) eingestellt werden.

2.2 Meßvorgang und Photometer

Von den verschiedenen Meßverfahren wurde das in 1.3 b) angegebene Abtasten des Koronabildes verwendet. Trotz des nicht korrigierbaren Fehlers von ca. $\pm$ 6 % des Meßergebnisses in bezug auf die Linienbreite erscheint das Verfahren bei den gegebenen Anforderungen am günstigsten. Der Fehler sollte nicht überbewertet werden; der Vergleich von Meßergebnissen verschiedener Stationen zeigt, daß andere Ursachen zu wesentlich größeren Unterschieden führen als 6 %. Für Routinebeobachtung erscheinen Lyot-Filter günstiger als Spektrographen. Das Ab tastverfahren wurde gewählt, um langwierige Auswertungen mit dem Schnellphotometer zu vermeiden. Die Genauigkeit der Messung ist größer, wenn die Probleme, die durch den photographischen Prozeß entstehen, durch Multiplermessungen umgangen werden. Außerdem kann der Meßvorgang durch die sofortige Auswertung mit einem Rechen-Steuersystem besser verfolgt werden.

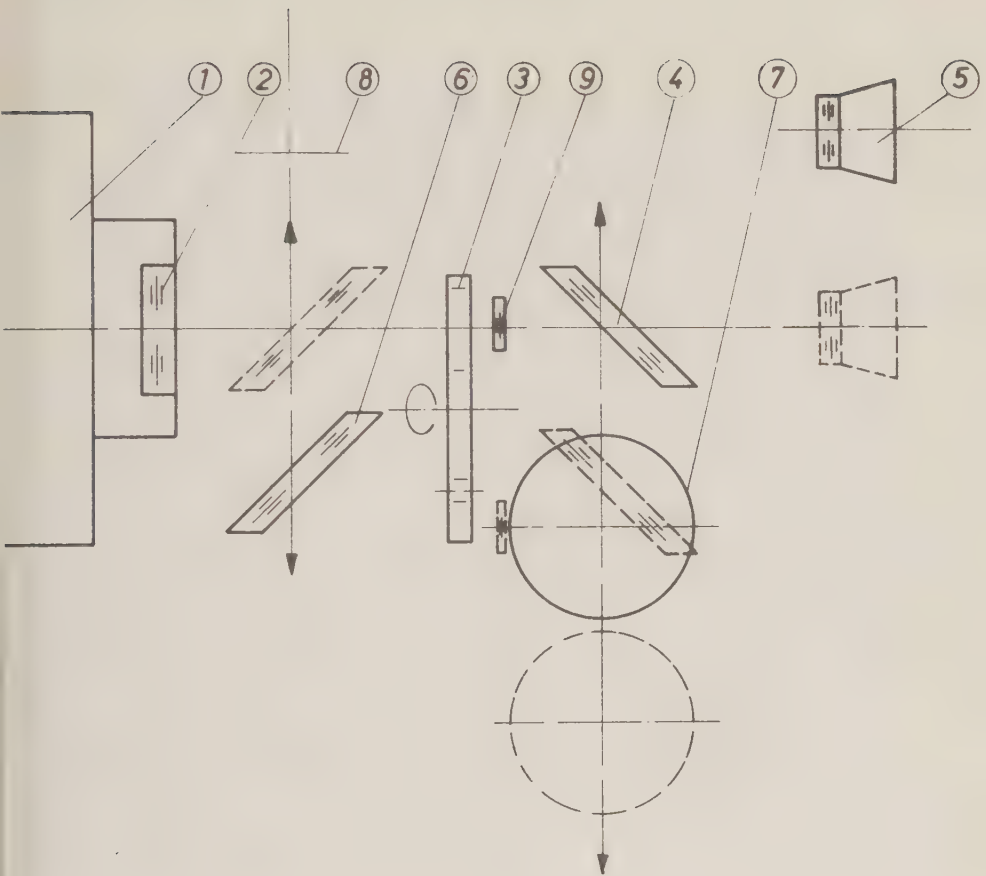


Abb. 2-1 Photometer schematisch (ohne Maßstab)

- 1 Lyot-Filter
- 2 Fabry-Linse
- 3 Blendenrevolver
- 4 Umlenkspiegel für Multiplier
- 5 Okular
- 6 Umlenkspiegel für Kamera (verschiebbar)
- 7 Multiplier
- 8 Bildebene Kamera
- 9 Linse

Abb. 2-1 zeigt das Prinzip des Photometers. Das Filter bedeckt zur Einsparung von teuren Quarzelementen nur etwa $\frac{2}{3}$ des Sonnen-Koronabildes. Darum wurde das ganze Filter exzentrisch drehbar um die optische Achse des Fernrohrs gelagert. An diesen bereits mit Skala und P-Winkeleinstellung versehenen Drehmechanismus wurde das neue Photometer angeschlossen. Es ist so konstruiert, daß das Bild der Korona auf wahlweise drei verschiedene Ausgänge gestellt werden kann. Es kann wechselweise durch Okular und Multiplier beobachtet werden, und über einen verschiebbaren Umlenkspiegel kann die Korona mit einer angebauten Kamera photographiert werden. Im Ort des Koronabildes ist eine Revolverblende angebracht; es können vier Blenden mit verschiedenen Entfernungen vom Sonnenrand, eine kontinuierlich verstellbare Blende und eine Strichplatte gewählt werden. Die Strichplatte dient zur Okularbeobachtung und zur notwendigen



Abb. 2 - 2

Einstellung des Koronographen. Ein zum Kegelblendenbild konzentrischer Halbkreis ist mit einem radialen Strich versehen (Abb. 2-2). Durch Drehen des Photometers zusammen mit dem Lyot-Filter wird der Ring um die Sonne bewegt. Am Ort des Striches kann die Position der Korona abgelesen werden.

Wird jetzt die Strichplatte mit einer der Blenden vertauscht, so befindet sich diese am gleichen Ort wie vorher der Strich. Somit kann durch die Blenden nur ein definierter Ausschnitt des Koronabildes gesehen werden. Wird das Okular durch den Multiplier ersetzt, so bestimmt die Lichtintensität ein Ort der Lochblende. An dieser Stelle des Bildes wird nun nacheinander die Intensität der Korona und des Streulichtes gemessen. Der Übergang zur Wellenlänge für die Streulichtmessung erfolgt durch Vorfiltertausch (2.1).

2.3 Sonnenanschluß

Der Photostrom des Multipliers ist proportional zur gemessenen Lichtmenge; der entsprechende Spannungsabfall an einem 10 M Ω -Widerstand wird über einen Strom-Spannungswandler in Volt gemessen. Wenn die in der Linie gemessene Intensität mit U_{k+s} und die Intensität des Streulichts mit U_s bezeichnet wird, so gilt die einfache Beziehung:

$$U_{k+s} - U_s \cdot F_1 = U_k \quad (2-1)$$

mit $F_1 = F'_1 \cdot n \quad (2-2)$

Hierin ist F'_1 ein bekannter Faktor, der durch unterschiedliche Transparenz der beiden Vorfilter festgelegt ist. Er wird dadurch ermittelt, daß ein Kontinuum, z. B. die Sonnenmitte, mit jedem Vorfilter einmal gemessen wird. Dann ist $F'_1 \cdot U_{5379} = U_{5303}$, wenn U_λ die Intensitäten sind, welche zu den entsprechenden Wellenlängen der Vorfilter gehören. Wird die Photosphäre der Sonne als Kontinuum genommen, so muß das Lyot-Filter so in seiner Wellenlänge verschoben werden, daß Haupt- und Nebenmaximum mit ausreichender Genauigkeit außerhalb von Fraunhofer-Linien liegen.

Der Faktor n ergibt sich durch die Berücksichtigung der Fraunhofer-Linie λ 5302,31 Å (1-8).

U_k ist die Intensität der Korona an der gemessenen Stelle, angegeben in einer Einheit, die von verschiedenen Faktoren, wie z. B. Multiplierspannung, Verstärkung usw., abhängig ist. Allgemein ist es aber üblich, die Koronaintensität auf die 10^{-6} -fache Intensität der Sonnenmitte zu normieren und in Äquivalent-Å anzugeben. Dazu wird U_k noch mit dem Normierungsfaktor F_2 multipliziert, und man erhält:

$$(U_{k+s} - U_s \cdot F_1) F_2 = K_0 \quad (2-3)$$

K_0 ist die Intensität der Korona bezogen auf Sonnenmitte $\times 10^{-6}$ angegeben in Äquivalent-Å.

Zur Ermittlung des Faktors F_2 bzw. zur Durchführung des Sonnenanschlusses wird bei feststehender Verstärkereinstellung der Instrumentenausschlag gemessen, wenn die Sonnenmitte auf der Meßblende steht. Dazu braucht nur die Fernrohrrichtung so verstellt zu werden, daß die Sonne nicht von der Kegelblende verdeckt ist und die Sonnenmitte ungefähr im Strichkreuz der Strichplatte steht. Da die volle Sonne wesentlich heller ist, als die Korona, wird zur Lichtdämpfung noch ein Neutralglasfilter vor das Objektiv geklappt und die Irisblende im Koronographen um einen bekannten Anteil verkleinert, damit der maximale Instrumentenausschlag nicht überschritten wird. Für F_2 ergibt sich die Beziehung:

$$F_2 = \frac{10^6 \cdot k \cdot 1,17}{D \cdot G \cdot A_0} \quad (2-4)$$

Hierin bedeuten:

k : Faktor, der durch die Faltung mit der Filterkurve entsteht; Abschnitt 1.3 (1-7)

D : Dämpfungsfaktor des Neutralglasfilters

G : Dämpfung durch Irisblendenverkleinerung

A_0 : Instrumentenausschlag bei Messung der Sonnenmitte

Der Faktor 1,17 ist die Halbwertsbreite des Lyot-Filters, er vergrößert die gemessenen Koronawerte so, daß eine Angabe in Äquivalent- A möglich ist.

Aus konstruktiven Gründen ist das Neutralglasfilter in die Abdeckplatte der Taukappe des Koronographen montiert worden. Das ist optisch nicht der ideale Ort für ein solches Filter; es konnte aber durch mehrere Messungen gezeigt werden, daß bei fast geschlossener Iris innerhalb der Meßgenauigkeit kein Intensitätsunterschied zwischen Ein- und Ausfahren der Taukappe (Abstandsänderung des Neutralglasfilters vom Objektiv) feststellbar war.

2.4 Multipliiervverstärker, Netzgerät

Der Photostrom wird durch einen als Strom-Spannungswandler geschalteten, speziell temperaturkompensierten Operationsverstärker direkt am Fernrohr neben dem Multiplier vorverstärkt. Von hier gelangt das Signal über eine Leitung zum Spannungsmeßgerät, welches durch Umschalter in verschiedene Empfindlichkeitsbereiche einstellbar ist, und zur Hochspannungssicherung.

Da durch schon geringfügige Störungen in der Atmosphäre oder bei der Koronographeneinstellung auf die volle Sonne der Photostrom so weit ansteigen kann, daß der Multiplier zerstört wird, wurde ein aufwendiges Netzgerät mit Sicherungssystem gebaut. Abb. 2-3 zeigt das Blockschaltbild von Verstärker und Netzgerät. Das vom Multipliiervverstärker ankommende Signal wird am Komparator K mit einem festen Spannungsniveau verglichen. Übersteigt die Spannung den Wert von 11 Volt, entsprechend einem Photostrom von $1,1 \cdot 10^{-6}$ A, so wird über ein Flip-Flop ein Abschaltsignal ausgelöst. Dieses schaltet 1. die Hochspannung über ein Reedrelais kurz (Schaltzeit ca. 2 ms), sperrt 2. die Regelröhre und schaltet 3. mittels Relais die Wechselhochspannung ab. Das Abschaltsignal kann erst nach ca. 30 sec zurückgenommen werden, um für den Multiplier eine Erholzeit einzuhalten; hierzu dienen eine Rückholtaste und ein Monoflop.

Die Hochspannung kann mit einem Potentiometer kontinuierlich zwischen 500 und 1000 Volt eingestellt werden und ist kurzschlußgesichert.

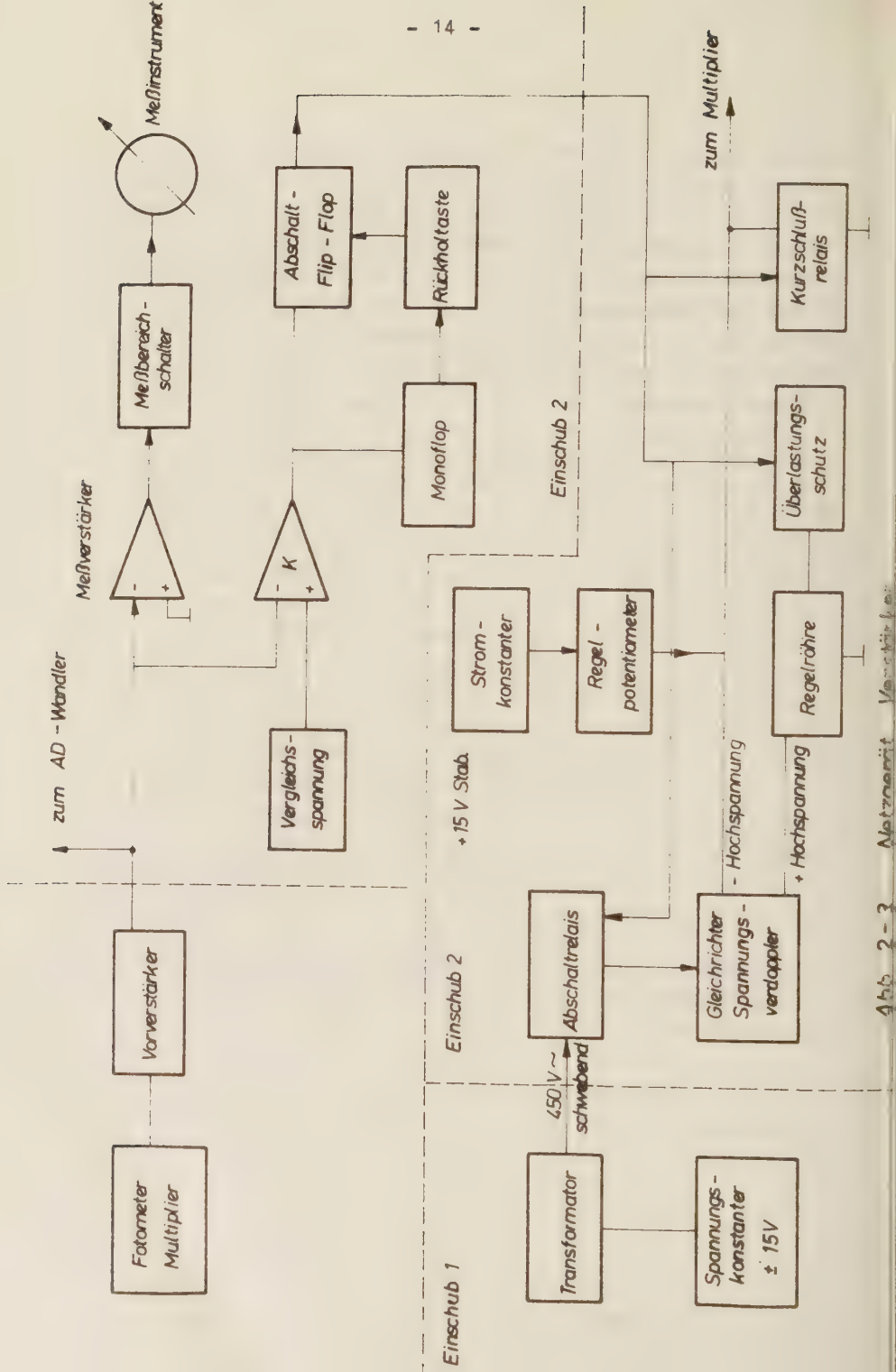


Abb. 2-3 Netzgerät Verstärker

2.5 Verstellbare Blende

Die Koronaintensität ist sehr stark von der Entfernung vom Sonnenrand abhängig; daher war es notwendig, die Meßblende des Blendenrevolvers radial zum Sonnenrand kontinuierlich einstellbar zu machen. Abb. 2-5 zeigt das Blockschaltbild der motorbetriebenen Verstelleinrichtung. Die Blende wird auf einem Schlitten durch eine Gewindestange verschoben, welche von einem Motor über eine Untersetzung angetrieben ist; die Gewindestange hat einen Vorschub von 0,5 mm pro Umdrehung. Der Drehwinkel wird durch eine Lochscheibe mit Tastkopf digital festgestellt.

Auf einer Lochscheibe sind 10 Öffnungen symmetrisch auf einem Kreis angeordnet. Die Öffnungen sind so groß, daß lichtverdeckende und nicht lichtverdeckende Abstände gleich lang sind. Beim Drehen wird die Anzahl der Löcherdurchgänge durch einen Tastkopf ermittelt. Dieser besteht aus zwei Lichtschranken (zwei Leuchtdioden und zwei Phototransistoren), welche in einem Abstand von $n + 1/4$ Öffnungen montiert sind (Abb. 2-4). Die Signale der beiden Phototransistoren werden verstärkt, und für jede Öffnung werden durch logische Verknüpfung vier Pulse erzeugt. Dabei entstehen je nach Drehrichtung getrennte Vorwärts- und Rückwärtspulse.

⊗ = Lichtschranke

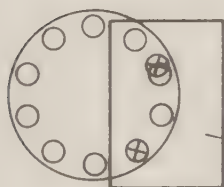


Abb. 2-4 *Lochscheibe mit Tastkopf*

Tastkopf

Es werden somit für 1 mm Vorschub der Blende 80 Pulse erzeugt. Da der Sonnenbilddurchmesser im Photometer etwa 24 mm beträgt, entspricht ein Vorschubpuls ca. einer Bogensekunde an der Sonne. Die Pulse werden durch einen dezimalen VR-Zähler gezählt und können auf einer Ziffernanzeige abgelesen werden. Wird der Zähler am Sonnenrand in Nullstellung gebracht, so ist die Entfernung der

Meßblende vom Sonnenrand direkt in Bogensekunden ablesbar. Eine genaue Rechnung ergab, daß der ablesbare Wert eigentlich mit dem Faktor 1,017 multipliziert werden müßte. Dies erscheint aber im Vergleich zum Meßblendendurchmesser von 0,3 mm, entsprechend 22",5, nicht notwendig.

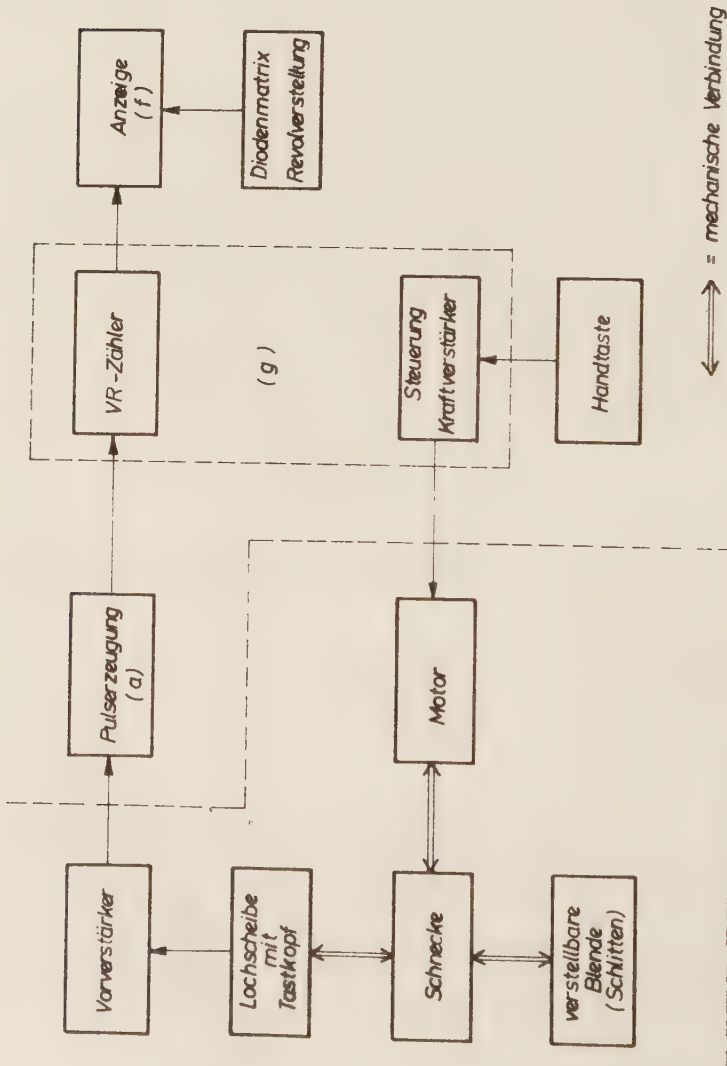


Abb. 2-5 Blendenverstellung

3 Steuersystem

Mit vorliegendem Photometer wurden Testmessungen gemacht (Abschnitt 4.2.1), und es zeigte sich, daß selbst bei hohem Streulicht noch recht genaue reproduzierbare Angaben über die Koronaintensität gemacht werden konnten. Da eine Punkt-für-Punkt-Messung mit Zwischennotieren eine langwierige Angelegenheit ist, bei der sich das Wetter erheblich ändern kann, wurde der Meßvorgang automatisiert. Dazu sollten folgende Forderungen erfüllt werden:

1. Eine möglichst schnelle Messung, damit auch bei größeren Wolkenlücken und variabilem Wetter gemessen werden kann.
2. Jede Messung muß für die Reduktion nach (2-2) das Streulicht erfassen.
3. Automatisches Auswerten der Meßwerte mittels Rechner und Notieren auf einem Schreiber.
4. Automatische Steuerung des Positionswinkels der Apparatur, des Vorfilters und der Schreiberausgabe.

Abb. 3-1 gibt einen Überblick über das gesamte Steuersystem.

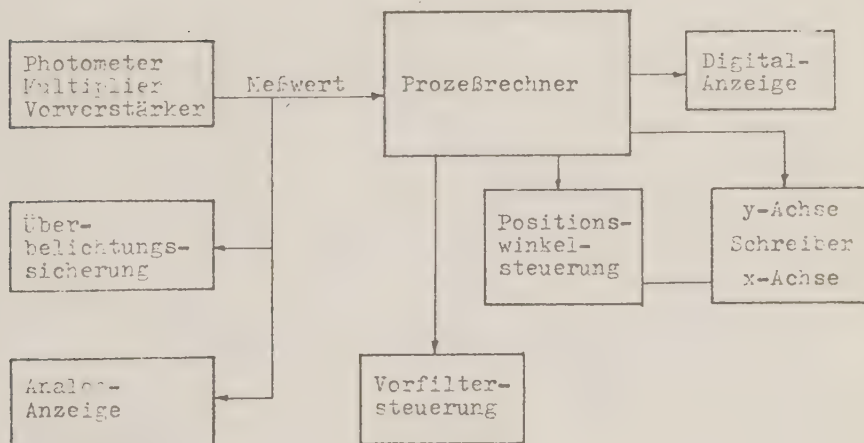


Abb. 3-1

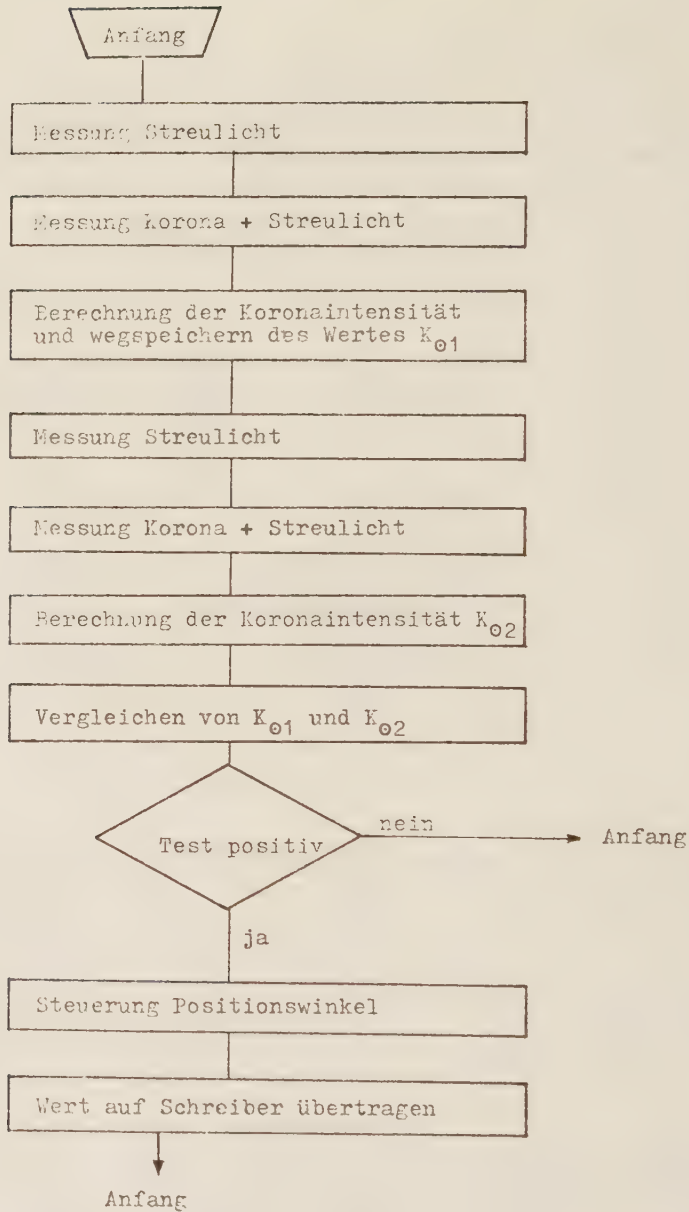


Abb. 3 - 2

Bei automatischen Messungen stellt sich sofort die Notwendigkeit, daß der Apparat Fehlmessungen von selbst erkennt und ausschließt. Als mögliche Fehlerquellen seien hier genannt: Entstehende Kumuluswolken, herumfliegender Staub, Insekten oder Vögel, Kondenzstreifen von Flugzeugen usw. Um solche Fehlerquellen zu eliminieren, werden jeder Korona- und jeder Streulichtwert zweimal gemessen und die Ergebnisse miteinander verglichen. In Abb. 3-2 ist zur Übersicht ein vereinfachtes Meßprogramm aufgezeichnet. Einzelheiten sind weiter unten ersichtlich (3.3.4).

Für jeden Einzelwert muß mindestens viermal das Vorfilter gewechselt und einmal der Positionswinkel geändert werden. Der Zeitaufwand für diese Steuerungen geht als Meßzeit verloren, und um diese Verluste klein zu halten, wurden spezielle Steuerschaltungen entwickelt.

3.1 Vorfiltersteuerung

Wegen des viermaligen Vorfilterwechsels während eines Meßvorgangs wurde hier besonders Wert auf einen schnellen Steuerungsprozeß gelegt; dazu wurde die von der Firma Zeiss manuell bedienbare Wechsellvorrichtung umgebaut. Für einen schnellen Wechselprozeß sind eigentlich Schrittmotoren die günstigste Lösung. Da sehr wenig Platz im Lyot-Filter-Gehäuse ist, konnte keiner dieser Motoren wegen der zu geringen Leistung pro Volumen verwendet werden. Deshalb wurde ein im Prinzip als Schrittmotor geschalteter eisenloser Gleichstrommotor verwendet. Abb. 3-3 zeigt das Blockschaltbild der Steuerung. Der dreistufige Vorfilterrevolver wird über eine 1 : 7,5 Untersetzung von einem Gleichstrommotor angetrieben. Um die Revolverstellung zu wechseln, macht der Motor je 2,5 Umdrehungen. Zwei Revolverstufen sind die Vorfilter für λ 5303 Å und λ 5379 Å, mit einer dritten Stufe kann das Photometer abgedunkelt werden. Mit dem Motor sind noch ein Tachogenerator und eine Lochscheibe mit Tastkopf mechanisch gekoppelt. Die Lochscheiben-Tastkopfkombination dient zur

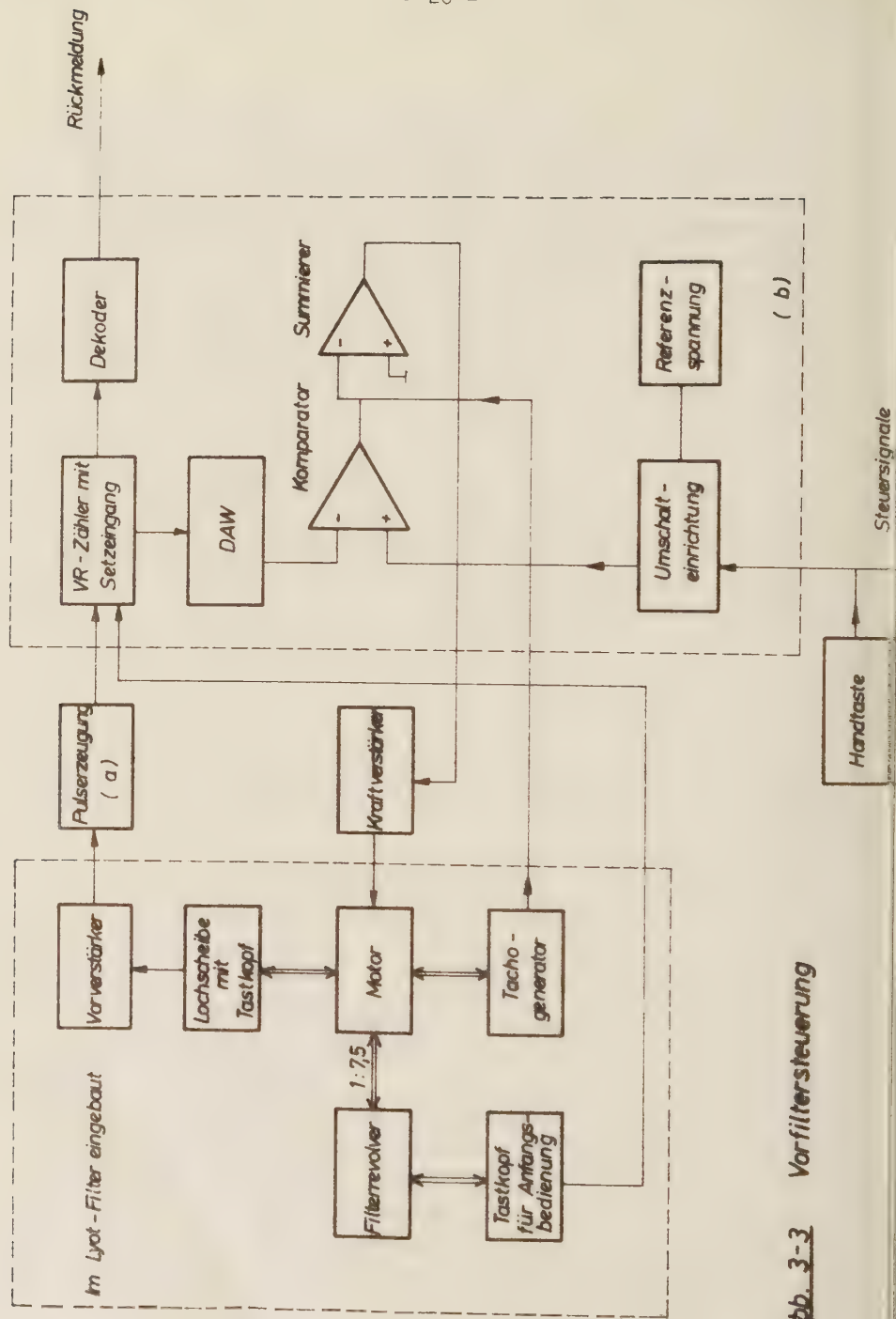


Abb. 3-3 Vorfiltersteuerung

Erzeugung von Pulsen, welche eine Schrittsteuerung des Motors ermöglichen. Die Pulse werden nach dem gleichen Prinzip, wie in (2.5) beschrieben, erzeugt. Die Lochscheibe hat 48 Öffnungen, und für einen Umschaltvorgang (2,5 Umdrehungen) bzw. Filterwechsel werden 480 Pulse erzeugt, welche von einem VR-Zähler gezählt werden. Folgende Filterstellungen und Zählwerte werden einander zugeordnet:

5375	→	1495
5303	→	1015
dunkel	→	535

Der VR-Zähler ist mit einem DA-Wandler verbunden, der für jede Filterstellung (Zählstellung) ein analoges Signal erzeugt; dieses wird an einem als Komparator geschalteten Operationsverstärker mit einer umschaltbaren Referenz analog verglichen. Mit der Summe aus dem entstehenden Vergleichssignal und der Tachogeneratorspannung wird über einen Kraftverstärker der Motor gesteuert. Der Tachogenerator erzeugt ein geschwindigkeitsabhängiges Signal, welches so eingestellt wird, daß bei Umschaltvorgängen der Motor nur kurz überschwingt. Da beim Einschalten der VR-Zähler einen willkürlichen Zustand annimmt, wird er über eine weitere Lichtschranke am Vorfilterrevolver in einen Anfangszustand gesetzt.

Mit der angegebenen Elektronik konnte eine Filterumschaltzeit von ca. 0,2 sec erreicht werden.

3.2 Steuerung Positionswinkel (Drehantrieb Abb. 3-4)

Zum Abtasten der Korona in verschiedenen Positionswinkeln wird das ganze Photometer zusammen mit dem Lyot-Filter gedreht. Die Drehung kann kontinuierlich und schrittweise erfolgen. Es können Schrittweiten von 0,5; 1; 2; 5; 10 und 20° eingestellt werden. Bei einem Sonnenbilddurchmesser von ca. 24 mm und einer Blendenöffnung von 0,3 mm kann damit die Korona mit ausreichenden Überlappungen abgetastet werden. Wie zahlreiche Aufnahmen zeigen, hat die Korona oft eine strahlenförmige Struktur mit einem steilen Anstieg der Intensitätswerte. An Hand der Beispiele von Abschnitt 4 kann das gut gezeigt werden.

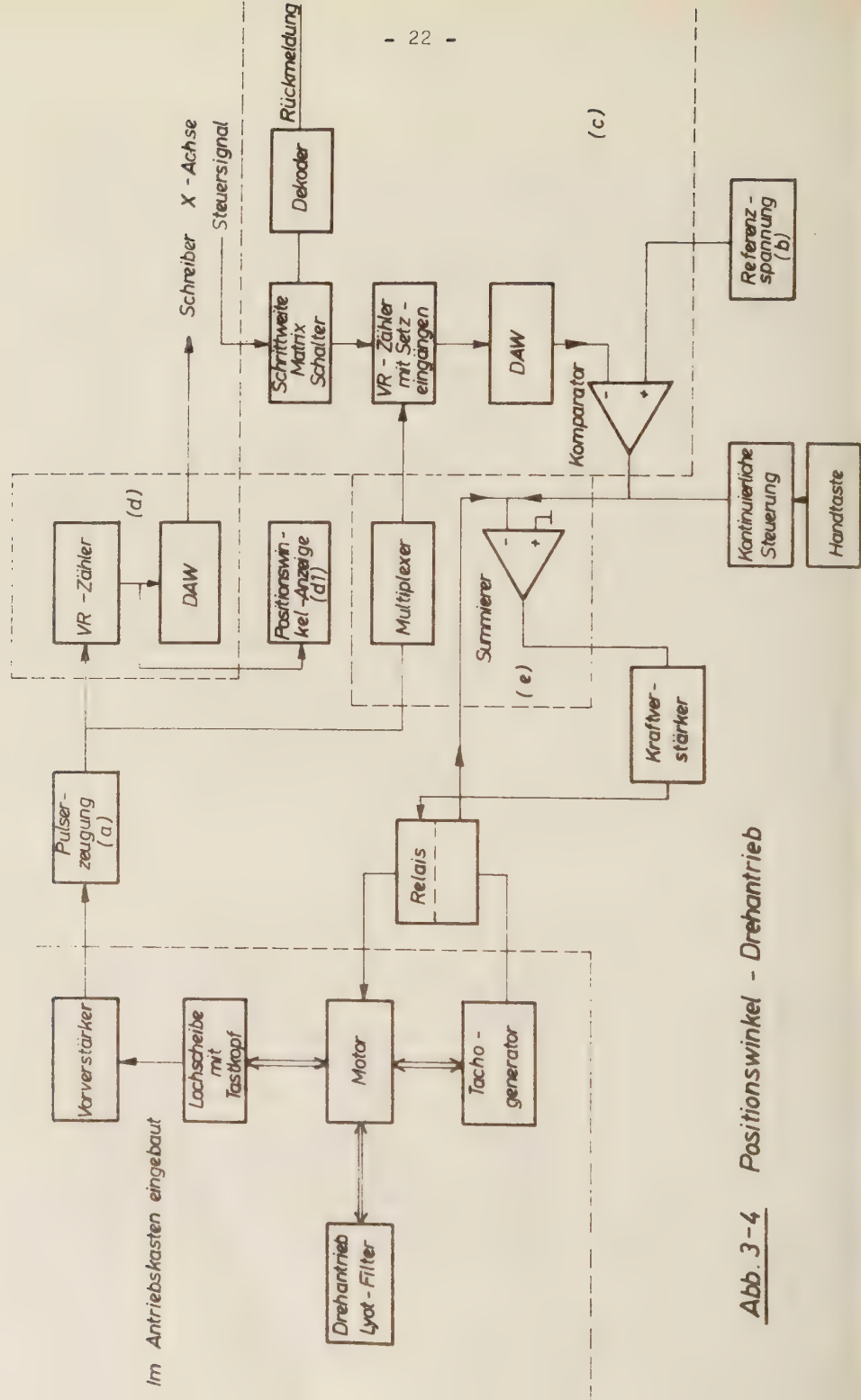


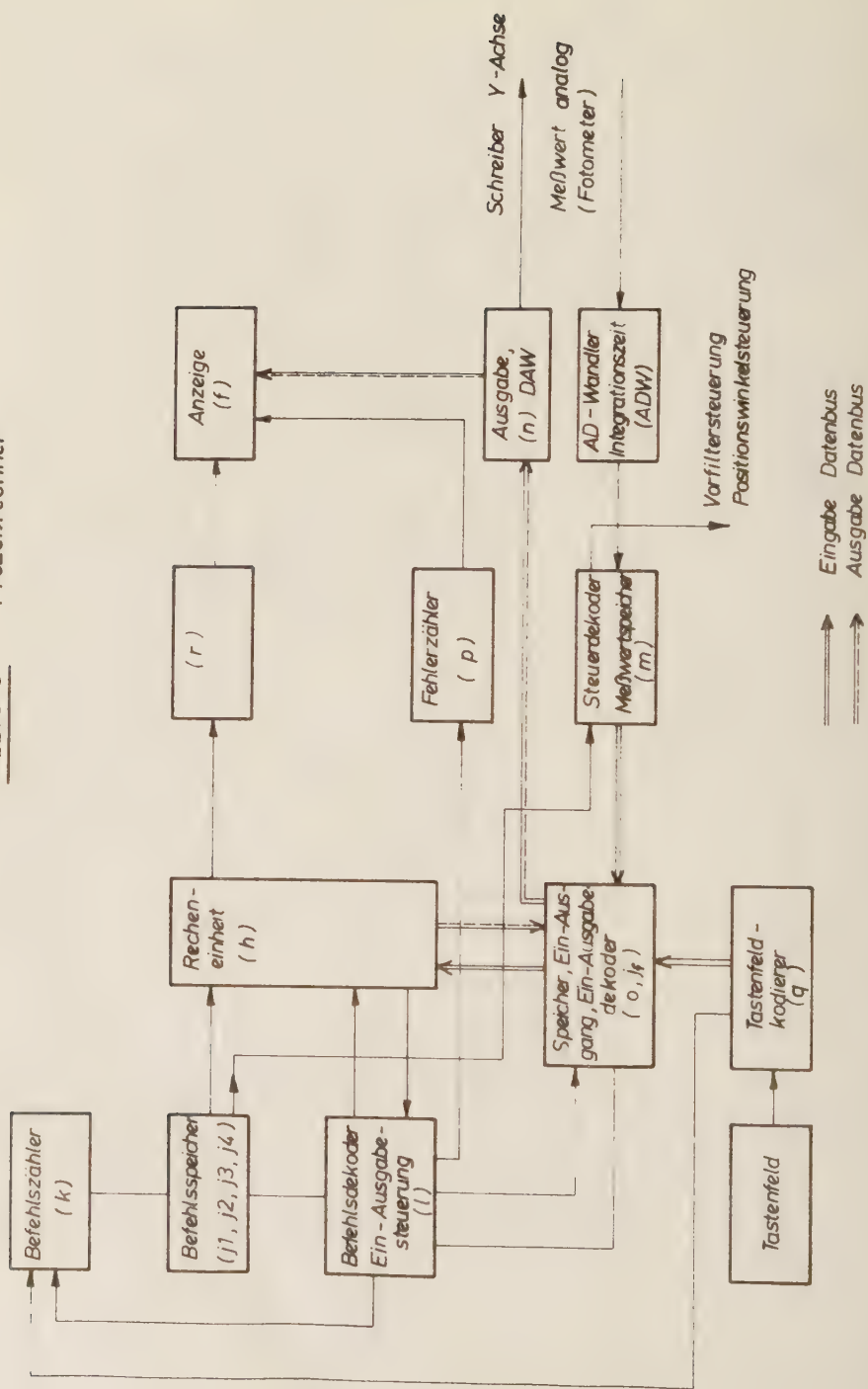
Abb. 3-4 Positionswinkel - Drehantrieb

Das Antriebsprinzip ist ähnlich dem in 3.1 beschriebenen Vorfilterantrieb. Das Photometer ist über eine 1 : 720 Untersetzungsstufe mit dem Motor verbunden. Eine Lochscheibe mit 16 Öffnungen erzeugt für jeden 0,5-Schritt 64 Pulse, welche von zwei verschiedenen VR-Zählern gezählt werden. Der VR-Zähler auf Modul (c) wird je nach gewünschter Schrittweite über eine umschaltbare Diodenmatrix auf den Wert $n \cdot 64 + 32$ gesetzt. Die Zählstellung wird über den DA-Wandler (c) an dem Operationsverstärker (c) analog mit einer Referenzspannung verglichen. Mit der Summe aus dem entstehenden Signal und der Tachogeneratorspannung wird über einen Kraftverstärker der Motor gesteuert. Die Referenzspannung ist so eingestellt, daß der Motor bei der Zählstellung 32 zum Stillstand kommt. Es entsteht somit bei jedem Setzen des VR-Zählers (c) durch das Steuersignal eine Fehlerspannung, die ein Weiterlaufen des Motors bewirkt. Zum Umschalten der Drehrichtung wird durch ein Relais die Motor- und Tachogeneratortpolung vertauscht und über einen Multiplexer die Zählrichtung des VR-Zählers (c) umgedreht. Somit kann der VR-Zähler für beide Drehsinne in der gleichen Richtung zählen. Zur kontinuierlichen Verstellung des Positionswinkels wird das Fehlersignal über eine Handtaste erzeugt und mit einem Umschaltrelais dem Kraftverstärker zugeschaltet. Der VR-Zähler auf Modul (d) hat die Aufgabe, den Positionswinkel zu bestimmen; über eine Ziffernanzeige kann der Winkel von 0 bis 359,5 in 0,5-Grad-Schritten abgelesen werden. Durch den DA-Wandler (d) wird der Positionswinkel analog auf die x-Achse eines x,y-Schreibers geführt.

3.3 Prozeßsteuerung, Rechenprogramm

Die Berechnung der Koronawerte, des Anschlußwertes und die verschiedenen Steuerfunktionen werden bei automatischem Betrieb der Apparatur von einem Prozeßrechner übernommen, der eigens für den vorliegenden Zweck gebaut wurde. Abb. 3-5 zeigt das Blockschaltbild des Rechners. Das Kernstück der Anlage bildet ein 1-Chip Rechner TMS 0117 von Texas Instruments, durch den

Abb. 3-5 Prozeßrechner



alle arithmetischen Operationen ausgeführt werden können. Um eine Folge von Programmschritten durchzuführen, wird ein Befehlszähler benötigt, der nach Ausführen eines jeden Programmschrittes um 1 weiterschaltet. Dieser Zähler liefert die Adressen für den Befehlsspeicher, in dem das abzuarbeitende Programm gespeichert ist. Der daran angeschlossene Befehlsdekoder übernimmt die Auswertung der einzelnen Befehle, trifft bei Sprungbefehlen logische Entscheidungen und synchronisiert die Recheneinheit mit dem Speicher und den Ein-Ausgabekanälen. Die Eingabe von Befehlen oder einer Folge von Befehlen erfolgt über ein Tastenfeld. Beim Drücken einer Taste wird über den Tastenfeldkodierer der Befehlszähler entsprechend dem Befehl gesetzt, und gleichzeitig steht die Information an der Eingabe-Datenleitung an. Die Dateneingabe erfolgt wie ein Befehl über das Tastenfeld oder über die Meßwerteingabe, bzw. den Meßwertspeicher. Zusammen mit einem AD-Wandler stellen diese die Verbindung vom Photometer zum Rechner her. Die vom Photostrom abhängige Ausgangsspannung des Multiplier-Vorverstärkers gelangt über eine umschaltbare Integrations-Zeitkonstante (40, 100, 200, 400, 1000 ms) auf einen 4-stelligen AD-Wandler. Hier wird das analoge Helligkeitssignal im BCD-Kode digitalisiert und dann an den Meßwertspeicher weitergegeben. Die Ausgabe von Meßwerten und Rechenergebnissen läuft über eine Ausgabe-Datenleitung (Datenbus) zum Speicher und zum Ausgabemodul (n); hier werden die Daten für eine Ziffernanzeige und für einen DA-Wandler in Schieberegistern zwischengespeichert. Mit dem analogen Ausgang des DA-Wandlers wird die y-Achse des Schreibers betrieben. Parallel mit der Integrations-Zeitkonstante wird auch die variable Meßzeit (0,2; 0,5; 1; 2; 5 sec) durch ein Monoflop verändert.

3.3.1 Programmierung

Für den Befehlsspeicher ist eine Programmsprache verwendet, in der jeder Befehl aus einem 10 Bit langen Wort $P_0, P_1, P_2, \dots, P_9$ besteht. Die Bit P_5, P_6, P_7 kennzeichnen die Art des Befehls und werden vom Befehlsdekoder dekodiert.

Folgende Tabelle zeigt diese acht Grundbefehle:

Tabelle 1

P ₅	P ₆	P ₇	PR	
L	L	L	0	mathematische Operation
H	L	L	1	Eingabe
L	H	L	2	Ausgabe
H	H	L	3	Halt
L	L	H	4	Sprung
H	L	H	5	Sprung bei Schalterbedingung
L	H	H	6	Sprung wenn Vorzeichen negativ
H	H	H	7	Sprung wenn Vorzeichen negativ und Ansprechen des Fehlerzählers

Mathematische Operationen PRO sind durch ein Befehlswort mit folgendem Aufbau gekennzeichnet:

P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉
									
Art der Operation				x	L	L	L	x	x

Die Kodierung der Operationsart entspricht dem Befehlskode für den TMS 0117.

Die Eingabe PR1 und die Ausgabe PR2 werden gesetzt, wenn Daten in die zentrale Recheneinheit eingegeben oder ausgelesen werden sollen.

Der Haltbefehl PR3 stoppt den Rechner so lange, bis er durch ein externes Signal wieder gestartet wird; damit kann die Synchronisation mit den mechanischen Steuereinheiten, welche eine Rückmeldung haben, hergestellt werden.

Mit den Sprungbefehlen PR4, PR5, PR6, PR7 können bestimmte Teile des fest verdrahteten Befehlsspeichers angewählt oder Schleifen programmiert werden. In diesem Fall stellen die Bit P₀, P₁, P₂, P₃, P₄, P₈, P₉ eine binäre Adresse für den Befehlszähler dar. Bei PR4 wird immer ein Sprung durchgeführt, und bei PR5 kann ein Sprung durch eine Schalterstellung bestimmt werden. Hiermit wird eine Einzel- oder Mehrfachmessung gesteuert. Bei PR6 und PR7 tritt ein Programmsprung nur bei negativem Vorzeichen auf, mit der Zusatzbedingung für PR7, daß ein Meßfehler festgestellt wurde.

3.3.2 Steuerbefehle

Ebenso wie die Rechenfunktionen werden auch die Steuerfunktionen für den Meßvorgang über Befehlszähler und Befehlsspeicher gesteuert. Die Steuerbefehle werden von den Bit P_4 , P_8 , P_9 gekennzeichnet und sind nur zusammen mit einem der Grundbefehle PR1, PR2, PR3, PR4 wirksam. Tabelle 2 gibt Aufschluß über die verschiedenen Steuerbefehle, die von einem gesonderten Steuerdekodekoder dekodiert werden.

Tabelle 2

P_4	P_8	P_9	SR	
L	L	L	0	keine Steuerung
H	L	L	1	Lyot-Filter Stellung 5303 ($\downarrow k$)
L	H	L	2	" " " 5379 ($\downarrow S$)
H	H	L	3	Rückfrage
L	L	H	4	ADC-Datenübernahme
H	L	H	5	ADC keine Datenübernahme
L	H	H	6	Drehantrieb Positionswinkel ($\downarrow \nabla$)
H	H	H	7	Nur Helligkeit mit dem Multiplier messen

Der Befehl SRO wird immer verwendet, wenn ausschließlich gerechnet wird, und die Steuerbefehle SR1 und SR2 werden für die Vorfiltersteuerung benutzt. Der Befehl SR3 wird zusammen mit PR3 verwendet; damit wird bewirkt, daß das Meß- und Rechenprogramm anhält und erst dann weiterläuft, wenn der Rückmeldepuls einer Steuerfunktion eingetroffen ist. SR4 und SR5 steuern die Übernahme von Meßdaten vom AD-Wandler zum Meßwertspeicher; SR6 steuert den Drehantrieb des Photometers, und SR7 schaltet den AD-Wandler so, daß nur die Lichtintensität des Photometers gemessen wird, ohne Stellungen und Rückmeldungen von Vorfilter und Drehantrieb zu berücksichtigen.

3.3.3 Speicher, Schreiber

Tabelle 3

P ₁	P ₂	P ₃	Y	
L	L	L	0	} 4-stelliger Speicher
H	L	L	1	
L	H	L	2	Meßwertspeicher
H	H	L	3	variabler Festwertspeicher
L	L	H	4	Festwertspeicher 1,000
H	L	H	5	Ziffernausgabe
L	H	H	6	Ziffernausgabe und Winkelausgabe
H	H	H	7	Schreibbefehl (Druckbefehl)

In Tabelle 3 sind die Steuerfunktionen für Speicher, Ziffernausgabe und Schreiber angeführt. Sie werden von einem gesonderten Ein-Ausgabe-Dekoder übernommen, der von den Bit P₁, P₂, P₃ des Befehlsspeichers gesteuert ist. Die dekodierten Ausgangssignale Y₀ - Y₇ sind nur während PR1 und PR2 gültig. Die Funktionen Y₀ und Y₁ steuern zusammen mit dem Bit P₀ die vier verschiedenen Speicherplätze, in die jeweils ein Wort gespeichert werden kann. In Tabelle 4 ist angegeben, wie die Speicherplätze zu programmieren sind.

Tabelle 4

P ₀	P ₁	Y	Speicherplatz
L	L	0	0
H	L	0	1
L	H	1	2
H	H	1	3

Die Funktion Y₃ ruft den Meßwertspeicher auf, und Y₄ und Y₅ steuern Festwertspeicher an. Der variable Festwertspeicher kann durch einen Schalter geändert werden, so daß die Werte 0,20; 0,50; 1,00; 2,00; 5,00; 10,00 und 20,00 eingestellt werden können. Diese Werte werden im Meßprogramm als Maß

für zulässige Standardabweichungen verwendet. Y_5 gibt Ergebnisse vom Rechner zur Ziffernanzeige, und Y_6 leitet die Ergebnisse über einen DA-Wandler an die y-Achse des Schreibers weiter. Y_6 kann von Hand auch so geschaltet werden, daß laufend Übertragung zum Schreiber erfolgt. Die Funktion Y_7 senkt die Schreibernadel des Schreibers, so daß ein Aufzeichnen des Wertes erfolgt.

3.3.4 Befehlsspeicherprogramm

Der Befehlsspeicher ist in Form einer Diodenmatrix mit 10 Spalten und 108 Zeilen (bzw. Programmschritten) aufgebaut. Die 10 Spalten bzw. die Bit P_0 bis P_9 steuern die verschiedenen Dekoder. Die 108 Zeilen werden über Dekoder vom Befehlszähler angesteuert. In Tabelle 5 sind alle Programmschritte aufgeführt. Die Schritte 0 bis 19 sind für die Bedienung der Grundfunktionen des Rechners verwendet. Die Schritte 20 bis 27 und 40 bis 43 dienen der Handbedienung des Speichers; es können nur die Speicherplätze 0 und 1 von Hand erreicht werden. Aus technischen Gründen ist beim Einleseprogramm Speicher $\rightarrow$ Rechner wie auch bei einigen anderen Programmen ein Sprung programmiert, und erst nach dessen Durchführung wird das eigentliche Programm erreicht. Der Zählschritt 28 steuert über den Sprung von 29 nach 59 das eigentliche Koronameßprogramm an. Gleichung (2-3) ist noch etwas umgeformt zu:

$$(-U_s \cdot F_1 + U_{k+s}) F_2 = K_0 \quad (3-1)$$

Für ein einwandfreies Funktionieren des Meßprogramms ist Voraussetzung, daß das Photometer richtig eingestellt ist und die Werte F_1 und F_2 in den Speicherplätzen S_0 und S_1 stehen. Das Programm ist so aufgebaut, daß für die Steuer- und Rechenzeiten möglichst wenig Zeit verlorenggeht. Die Vorfiltersteuerung und die Rechnungen wurden, da der TMS 0117 ein verhältnismäßig langsamer Rechner ist, nach Möglichkeit parallel ausgeführt. Aus Abb. 3-4 ist der Programmablauf

ersichtlich. Nach Messung von Streulicht und Korona wird der Absolutwert K_{01} berechnet, dieser Wert in S_3 gespeichert und schon hier an die y-Koordinate des xy-Schreibers weitergeleitet. Somit geht am Ende des Programms keine Zeit mehr für die Einstellung des Schreibers verloren. Im zweiten Teil des Programms wird der Vergleichswert K_{02} gemessen und berechnet, und die Differenz $|K_{02} - K_{01}|$ wird mit der einstellbaren Standardabweichung σ verglichen. Wenn $|K_{02} - K_{01}| \leq \sigma$ ist, wird K_{01} geschrieben und der Positionswinkel verändert sich je nach Einstellung des Apparats.

Die Zählschritte 30 bis 39 dienen der Intensitätsmessung. Die Helligkeit eines Objektes wird dabei über den AD-Wandler digital (in Volt) gemessen und erscheint bei der Ziffernanzeige des Rechners. Durch den Programmschritt 37 wird der Wert zusätzlich zum Speicher S_2 gebracht. Der Zählschritt 30 (Taste Anschluß) steuert über den Sprung von 31 nach 44 ein festverdrahtetes Programm an, welches dazu dient, den Anschlußwert F_2 auszurechnen und an Speicherplatz 1 zu bringen. Hierfür werden vorher an die Speicherplätze 0 und 1 die Werte D und G gebracht und die Helligkeit der Sonnenmitte mit DämpfungsfILTER gemessen.

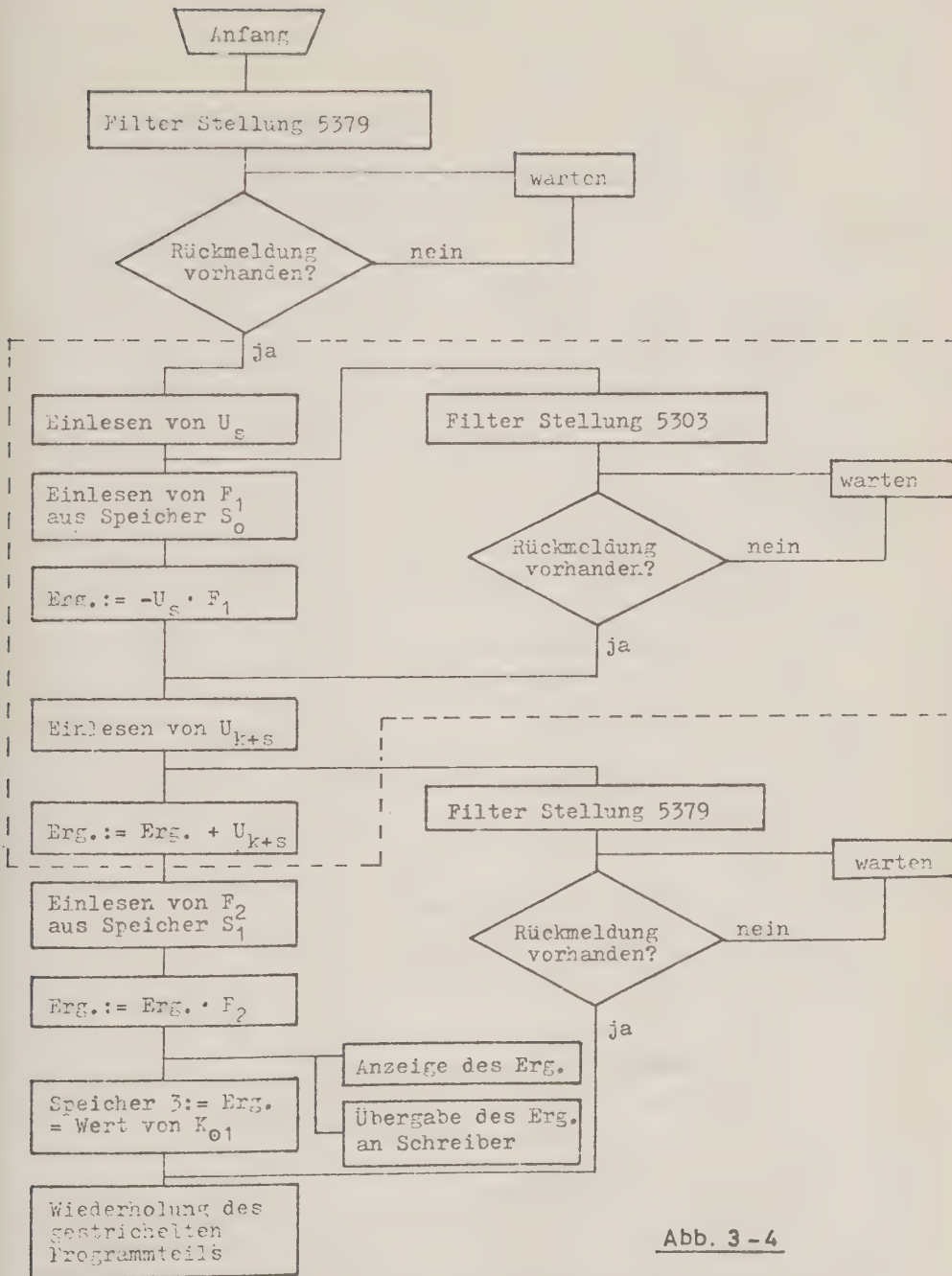


Abb. 3 - 4

Der zweite Teil des Programms ist vorwiegend ohne Steuerbefehle aufgezeichnet

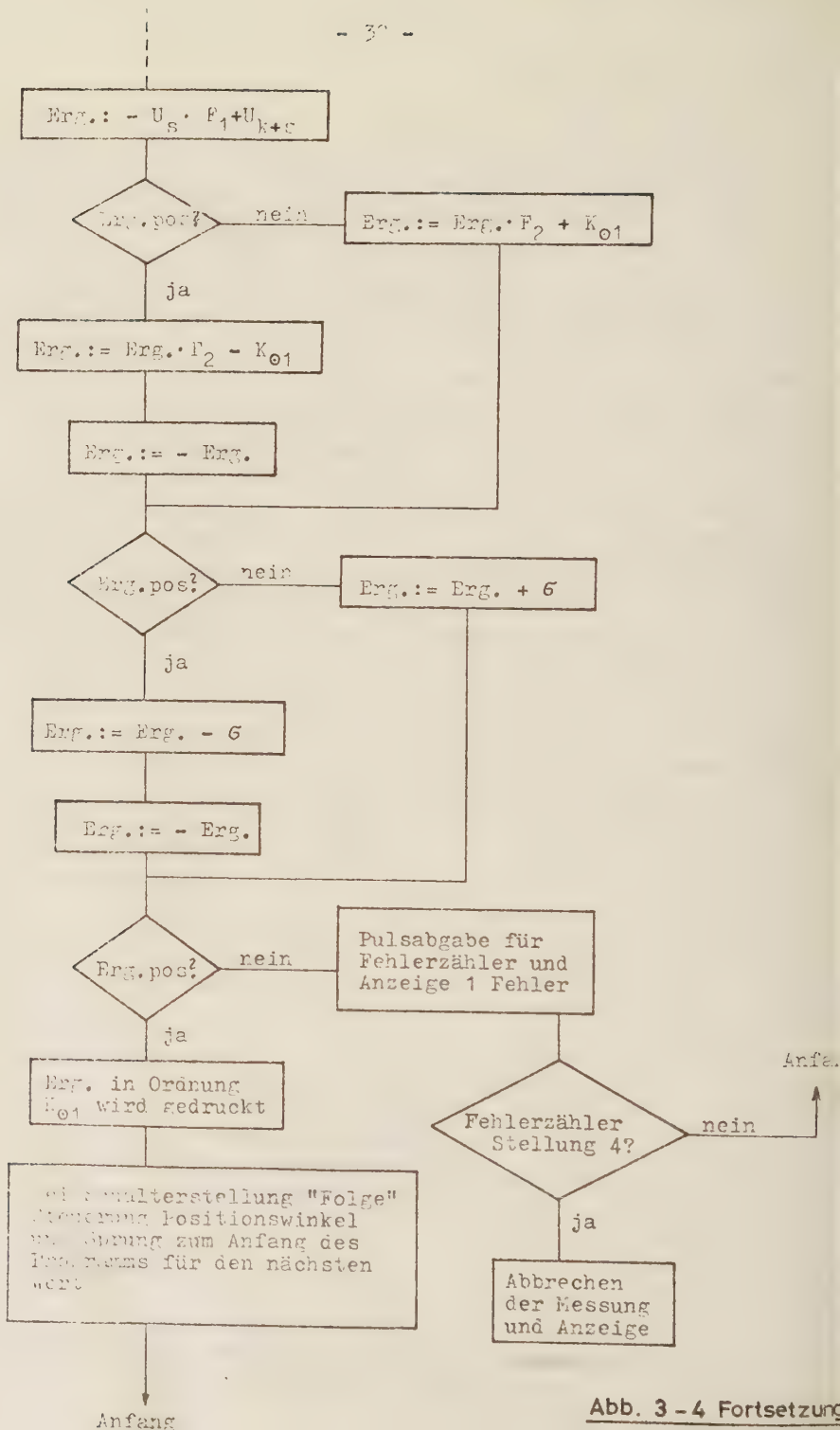


Tabelle 5

Programmschritt	PR	SR	Zweck	Programmschritt	PR	SR	Zweck
0			Reset	55	2	0	Ausg.Speich.1
1	3	0	Halt	56	4	0	Spr.4
2	1	0	Einlesen	57			leer
3	2	0	Auslesen	58	0	6	Positionsw/Clear
4	2	0	"	59	0	4	ADC-D /Clear
5	3	0	Halt	60	0	0	-
6	0	0	-	61	3	3	Halt/Rückfr.
7	4	0	Spr. 4	62	1	1	Einl.U _s /↑K
8	0	0	=	63	0	0	x
9	4	0	Spr. 4	64	1	0	Einl. F ₁
10	0	0	x	65	0	0	+
11	4	0	Spr. 4	66	3	3	Halt/Rückfr.
12	0	0	./	67	1	2	Einl.U _k /↑S
13	4	0	Spr. 4	68	0	0	x
14	0	0	+	69	1	0	Einl. F ₂
15	4	0	Spr. 4	70	0	0	=
16	0	0	Ex.Op.	71	2	0	K ₀₁ Speich.3
17	4	0	Spr. 4	72	2	0	Y ₅
18	0	0	Shift right	73	2	0	Y ₆
19	4	0	Spr. 4	74	0	0	Clear
20	2	0	R→S ₀	75	0	0	-
21	3	0	Halt	76	3	3	Halt/Rückfr.
22	2	0	R→S ₁	77	1	1	Einl.U _s /↑K
23	3	0	Halt	78	0	0	x
24	0	0	S → R	79	1	0	Einl. F ₁
25	4	0	Spr. 40	80	0	0	+
26	0	0	S ₁ → R	81	3	3	Halt/Rückfr.
27	4	0	Spr. 42	82	1	2	Einl.U _k /↑S
28	0	2	K(Korona)/↑S	83	0	5	x / _k ADC-kD
29	4	0	Spr. 59	84	6	0	Spr. 88
30	0	0	Anschluß	85	1	0	Einl. F ₂
31	4	0	Spr. 44	86	0	0	-
32	0	5	H(Helligkeit)	87	4	0	Spr. 90
33	0	7	Clear	88	1	0	Einl. F ₂
34	3	3	Halt	89	0	0	+
35	1	0	Eing. Y2	90	1	0	Einl. K ₀₁
36	2	0	Ausgabe Y5	91	0	0	Ex.Op.
37	2	0	Ausg.Speich.2	92	0	0	=
38	5	0	Spr. 32	93	6	0	Spr. 96
39	3	0	Halt	94	0	0	-
40	1	0	Eing. YoPlatz0	95	4	0	Spr. 97
41	4	0	Spr. 4	96	0	0	+
42	1	0	Eing. YoPlatz1	97	1	0	Einl.
43	4	0	Spr. 4	98	0	0	Ex.Op.
44	1	0	Eing.Speich.0	99	0	0	=
45	0	0	x	100	6	0	Spr. 106
46	1	0	Eing.Speich.1	101	2	0	Drucken
47	0	0	x	102	5	0	Spr. 58
48	1	0	Eing.Speich.2	103	3	0	Halt
49	0	0	./	104			leer
50	1	0	Eing. Y4	105			leer
51	0	0	Shift left	106	7	0	Spr. 107/Fehler
52	0	0	"	107	5	0	Spr. 59
53	0	0	Ex.Op.	108	4	0	Spr. 4
54	0	0	=				

4 Messungen

4.1 Meßgenauigkeit

4.1.1 Fehler der Anschlußwerte

Die Anschlußwerte F_1 , D , G , A_0 wurden mit dem in 2.2 beschriebenen Photometer bestimmt. Der durch Photonenrauschen bedingte mittlere relative Fehler R_r einer photoelektrischen Messung mit dem Multiplier wird ausgedrückt durch:

$$R_r [\%] = \frac{a \cdot 100}{I_{st} \sqrt{t}} \sqrt{2 e (I_{st} + I_h + I_{th}) + i_{sz}^2} \quad (4-1)$$

Hierin bedeuten:

a : = 1,3 Faktor, der den Fehler durch das Rauschen der Sekundärelektronen vergrößert

I_{st} : Photostrom eines Sterns bzw. der Korona

I_h : Photostrom des Himmelshintergrundes bzw. des Streulichts

I_{th} : thermischer Dunkelstrom der Kathode

i_{sz}^2 : "Seeing", d.h. Störquelle, die unabhängig von der Größe des Photostroms ist

t : Integrationszeit

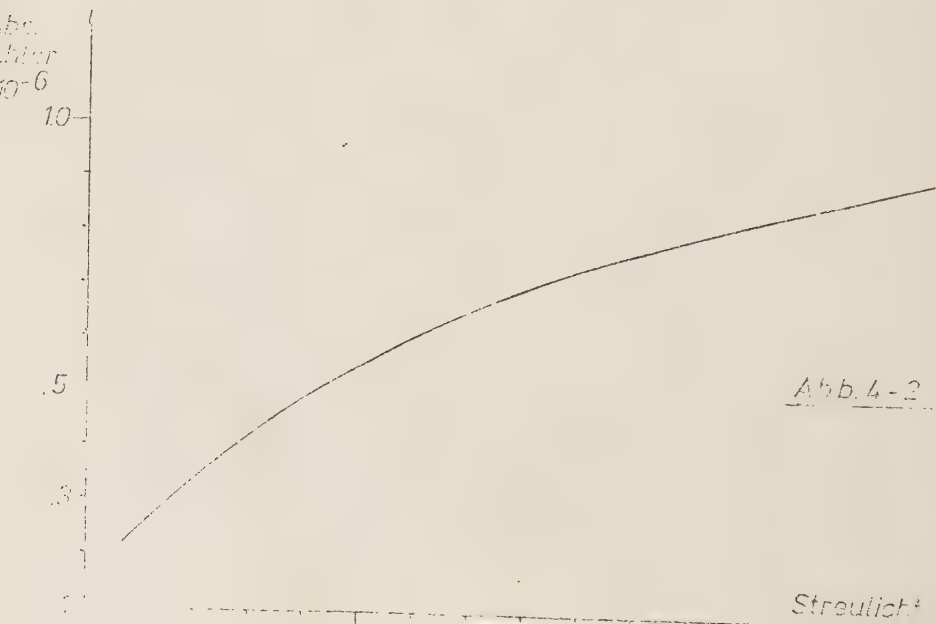
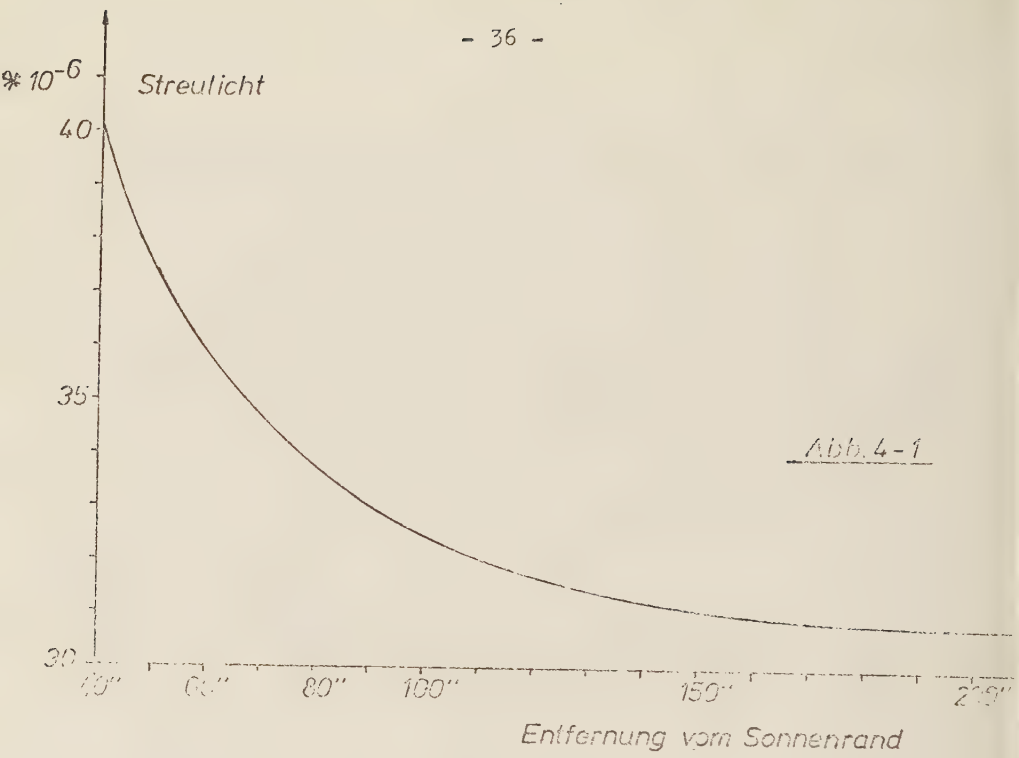
Da die Werte F_1 , D und G anfänglich nur einmal bestimmt werden müssen, kann der dazugehörige Fehler durch häufige Messungen und hohe Integrationszeit auf insgesamt unter 0,5 % gedrückt werden. Der Wert A_0 geht nach Gleichung (2-4) in den Anschlußwert F_2 ein und muß für jede Meßreihe gesondert bestimmt werden. Für die Anschlußmessung wird die Lichtdämpfung (Wert $D \cdot G$) immer so eingestellt, daß der Kathodenstrom des Multipliers bei Messung der Intensität der Sonnenphotosphäre, ebenso wie bei Messung der Koronaintensität, ca. 10^{-13} A beträgt. Der Dunkelstrom des verwendeten Multipliers ist ca. 10^{-16} A und kann somit in (4-1) vernachlässigt werden. Bei Koronawetter hat der Photostrom des Himmelshintergrundes bei Messung der Sonnenhelligkeit keine Bedeutung. Ebenfalls vernachlässigt werden kann bei Intensitätsmessung von flächenhaften Objekten

der Einfluß des "Seeing" [2]. Mit einer Integrationszeit von einer Sekunde errechnet sich dann für A_0 ein relativer Fehler von ca. 0,25 %, wenn Schwankungen der Hochspannungsversorgung des Multipliers nicht eingerechnet werden.

Bei der Hochspannung wurden kurzfristige Änderungen von ca. 0,05 % und langfristige Änderungen von ca. 0,4 % gemessen. Die langfristigen Hochspannungsschwankungen bedingen bei der Verstärkung des verwendeten Multipliers, daß die Genauigkeit eines Wertes bei einer Meßreihe nicht besser als 4 % sein kann; ein längeres Einbrennen des Netzgerätes ist nicht möglich, weil die Hochspannung zum Justieren der Anlage immer wieder abgeschaltet werden muß. Der Vergleich zweier kurz hintereinander gemessener Werte kann jedoch mit der größeren Genauigkeit von 0,5 % angegeben werden. Mit obigen Überlegungen hat der Anschlußwert A_0 einen Fehler von etwa 4 %. Hieraus errechnet sich nach (2-4) zusammen mit (1-7) für den Anschlußfaktor F_2 ein relativer Fehler von 8 %.

4.1.2 Fehler der Intensitätswerte

Der Ausdruck (4-1) kann auch für Streulicht- und Korona-messungen angewendet werden, allerdings ist der Anteil i_{sz}^2 jetzt nicht mehr vernachlässigbar; da dieser Anteil aber sehr stark vom Wetter abhängig ist, wird er hier vom Photonenrauschen gesondert behandelt. In Abb. 4-2 ist der absolute Fehler gegenüber variablem Streulicht aufgetragen, er wurde mit Gleichung (4-1) unter Vernachlässigung von i_{sz}^2 berechnet. Der absolute Fehler wurde genommen, weil dieser für verschiedene Koronaintensitäten bei gleichem Streulicht sehr ähnlich ist. In Abb. 4-1 ist das Himmelsstreulicht in Abhängigkeit von der Entfernung vom Sonnenrand aufgetragen. Die gemittelte Kurve wurde an einem Tag mit sehr guter Sicht und mittlerem Wind aufgenommen. Da die Taukappe des verwendeten Fernrohrs sich außerhalb der Kuppel befindet, neigt es bei Wind zu leichten Schwingungen. Diese tragen neben dem "Seeing" zu einer Unschärfe des Sonnenbildes, besonders sichtbar am Sonnenrand, bei.



Unter der Annahme, daß die Turbulenzelemente im Mittel die gleiche Ausdehnung haben, wurde aus der Deformation des Sonnenrandes ein Schwingen von ca. zehn Bogensekunden geschätzt. Aus dem Diagramm kann abgelesen werden, daß im Abstand von einer Minute vom Sonnenrand das Streulicht um etwa $\pm 0,8$ [Sonne $\cdot 10^{-6}$] schwankt. Dieser Fehler muß zu dem Fehler in Abb. 4-2 hinzuaddiert werden. Die Summe der beiden Fehler ist für die Einstellung der zulässigen Standardabweichung σ wichtig. In dem in 2.2 beschriebenen vergleichenden Meßverfahren muß σ etwas größer sein, als obige Fehlersumme, da es nicht sinnvoll ist, so oft zu messen bis zwei gleiche Intensitätswerte K_{01} und K_{02} gefunden werden. Bei häufigen Fehlermeldungen des Apparats muß die Standardabweichung erhöht werden. Eine höhere Genauigkeit der Messung ist dann nur noch durch häufiges Wiederholen und Mittelwertbildung möglich.

4.2 Meßergebnisse

4.2.1 Erste Testmessungen

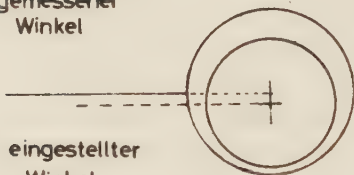
Zur Erprobung des Photometers wurden 1972 ohne Steuersystem einige Testmessungen gemacht. Die Positionswinkel an der Sonne wurden alle 5 Grad eingestellt und U_s und U_{k+s} an einem einfachen Voltmeter abgelesen. Der Verlauf der gemessenen Punkte wurde mit dem Rechner TR 440 des Leibniz-Rechenzentrums durch einen ausgleichenden "Spline" angenähert. Da schöne Koronatage selten sind, wurde versucht, auch an Tagen mit hohem Streulicht zu messen.

Abb. 4-4 (Seite 41) zeigt den Intensitätsverlauf der Korona 1972 Aug 10, an diesem Tag war zur Meßzeit hoher Dunst mit einem Streulicht von ca. 150 [Sonne $\cdot 10^{-6}$]. Der Vergleich der Meßkurve mit den veröffentlichten Werten von Pic du Midi [6] zeigt folgende Merkmale: Der Kurvenverlauf ist in den wesentlichen Teilen sehr ähnlich; die beiden Kurven sind um ca. 5 Grad gegeneinander verschoben, und die Intensitäten von Pic du Midi sind um einen Faktor ca. 1,6 größer.

Die Parallelverschiebung muß noch genauer untersucht werden; es ist möglich, daß der am Fernrohr fixierte Nullpunkt der Positionswinkelskala nicht richtig liegt.

Wenn während einer Messung die Fernrohreinstellung nicht nachkorrigiert wird, so kann eine periodische Verschiebung auftreten, die folgendermaßen erklärt werden kann (Abb. 4-3):

gemessener
Winkel



eingestellter
Winkel

Abb. 4-3

Die Kegelblende wird immer etwas größer gewählt, als das Sonnenbild. Wenn nun die Kegelblende nicht exakt auf die Sonne zentriert ist, dann erscheint der Positionswinkel der Korona parallel verschoben. Die Größe der Verschiebung ist abhängig vom Größenunterschied Kegelblende-Sonnenbild und vom Grad der Dejustierung. Eine einfache Abschätzung für den Wendelstein-Koronographen ergibt bei einiger-

maßen vernünftiger Fernrohreinstellung etwa 1 bis 2 Grad, kann aber unter sehr ungünstigen Umständen auch größer werden. Die periodische Verschiebung entfällt, wenn das verwendete Instrument mit dem in Arbeit befindlichen Leitrohr versehen sein wird.

Die Intensitätsunterschiede sind schwer zu begründen. Es ist möglich, daß die eigenen Messungen in größerer Entfernung von der Sonne gemacht wurden als angegeben, weil die verstellbare Blende mit der genauen Entfernungsanzeige erst später zusammen mit dem Steuersystem eingebaut wurde. Die unterschiedliche Meßzeit (Pic du Midi 06 23 UT und Wendelstein 12 00 UT) kann wohl nicht als Grund gesehen werden, weil die Meßwerte von Pic du Midi ziemlich konstant um etwa den Faktor 1,6 größer sind.

Abb. 4-5 (Seite 42) zeigt den Intensitätsverlauf der Korona 1972 Aug 11. Es wurde mit einem Streulicht von etwa 120 gemessen. Hier werden die Meßkurven vom Wendelstein und von der Station Lomnický štít verglichen. Es zeigt sich wieder eine Parallelverschiebung der Kurven und ein Intensitätsunterschied, welcher aber wesentlich geringer ist.

In Abb. 4-6 (Seite 43) ist die Korona 1972 Okt 10 dargestellt. Hier werden die photoelektrisch gemessenen und die geschätzten Koronawerte des Wendelsteins verglichen. Man sieht deutlich die Hauptmerkmale der Schätzungen: Feine hohe Spitzen werden leicht übersehen und zusammen mit der restlichen Korona zu einem niedrigeren Wert gemittelt.

4.2.2 Koronamessungen mit dem fertigen Gerät

Anfang 1975 konnte während zweier Schönwetterperioden eine Reihe von Koronaintensitätsmessungen gemacht werden. Die verschiedenen Tage sind chronologisch auf den Abbildungen 4-7 bis 4-24 (Seite 44 bis Seite 61) gezeigt. Sämtliche Intensitätskurven wurden mit dem Rechner TR 440 durch einen ausgleichenden "Spline" angenähert. Bei fast allen Messungen war eine zulässige Standardabweichung von ± 1 eingestellt, d. h. jeder Intensitätswert kann um höchstens eine Einheit $\pm 8\%$ dieses Intensitätswerts größer oder kleiner sein, als in den Kurven angegeben. Einige Meßkurven wurden zur Kontrolle ein zweites Mal aufgenommen, und es konnte innerhalb der Fehlergrenze jedesmal Übereinstimmung festgestellt werden. Abb. 4-8 zeigt den Intensitätsverlauf der Korona 1975 Feb 7. Zur guten Vergleichsmöglichkeit sind alle Meßkurven für die verschiedenen Entfernungen vom Sonnenrand ineinander gezeichnet. Die gestrichelte Linie stellt den kleinstmöglichen Schätzwert 1 der Wendelsteinskala dar, welcher in der üblichen Skala 12 beträgt. In Abb. 4-9 sind dieselben Meßkurven 1975 Feb 7 zur besseren Übersicht noch einmal versetzt aufgezeichnet. Am rechten Rand der Zeichnung können die zu jeder Kurve gehörende

Nullmarke und die Entfernung vom Sonnenrand abgelesen werden. Abb. 4-10 zeigt die Korona 1975 Feb 7 in Isophotendarstellung. Die Linien gleicher Helligkeit wurden ebenfalls mit dem Rechner TR 440 ermittelt. Wenn einige Spitzenwerte, die bei den Intensitätskurven vorkommen, in der Isophotendarstellung nicht zu finden sind, so liegt das daran, daß zur Einsparung von Rechenzeit die Stützpunkte für die Berechnung nur in 5-Grad-Abständen gewählt wurden. In Tabelle 6 sind alle Messungen (ohne Testmessungen) zeitlich geordnet aufgeführt.

Tabelle 6

Abb. 4-7 Intensitätskurve 1975 Feb 6

Abb. 4-8 Intensitätskurven 1975 Feb 7

Abb. 4-9 Intensitätskurven 1975 Feb 7 versetzte Darstellung

Abb. 4-10 Korona 1975 Feb 7 in Isophotendarstellung

Abb. 4-11 Intensitätskurven 1975 Feb 9

Abb. 4-12 Intensitätskurven 1975 Feb 9 versetzte Darstellung

Abb. 4-13 Korona 1975 Feb 9 in Isophotendarstellung

Abb. 4-14 Intensitätskurven 1975 Feb 10

Abb. 4-15 Intensitätskurven 1975 Feb 10 versetzte Darstellung

Abb. 4-16 Korona 1975 Feb 10 in Isophotendarstellung

Abb. 4-17 Intensitätskurven 1975 Feb 21

Abb. 4-18 Intensitätskurven 1975 Feb 21 versetzte Darstellung

Abb. 4-19 Intensitätskurven 1975 Feb 22

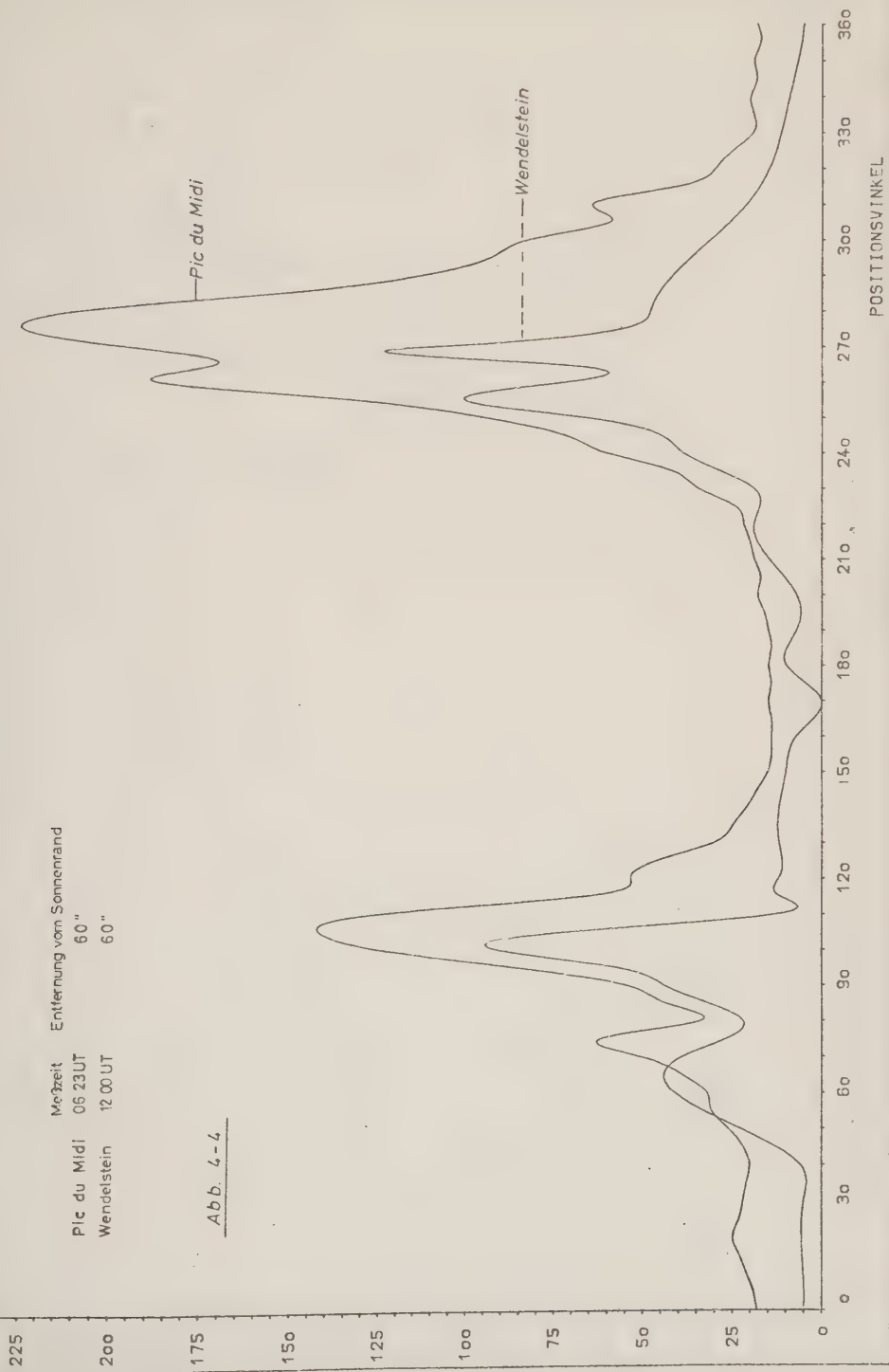
Abb. 4-20 Intensitätskurven 1975 Feb 23 versetzte Darstellung

Abb. 4-21 Korona 1975 Feb 23 in Isophotendarstellung

Abb. 4-22 Intensitätskurven 1975 Feb 26

Abb. 4-23 Intensitätskurven 1975 Feb 26 versetzte Darstellung

Abb. 4-24 Korona 1975 Feb 26 in Isophotendarstellung



Meßzeit Entfernung vom Sonnenrand
Pic du Midi 06 23 UT 60"
Wendelstein 12 00 UT 60"

Abb. 4-4

Lomnický Štít Mefzeit Entfernung vom Sonnenrand
 Wendelstein 06 32 UT 60"
 13 00 UT 60"

Abb. 4-5

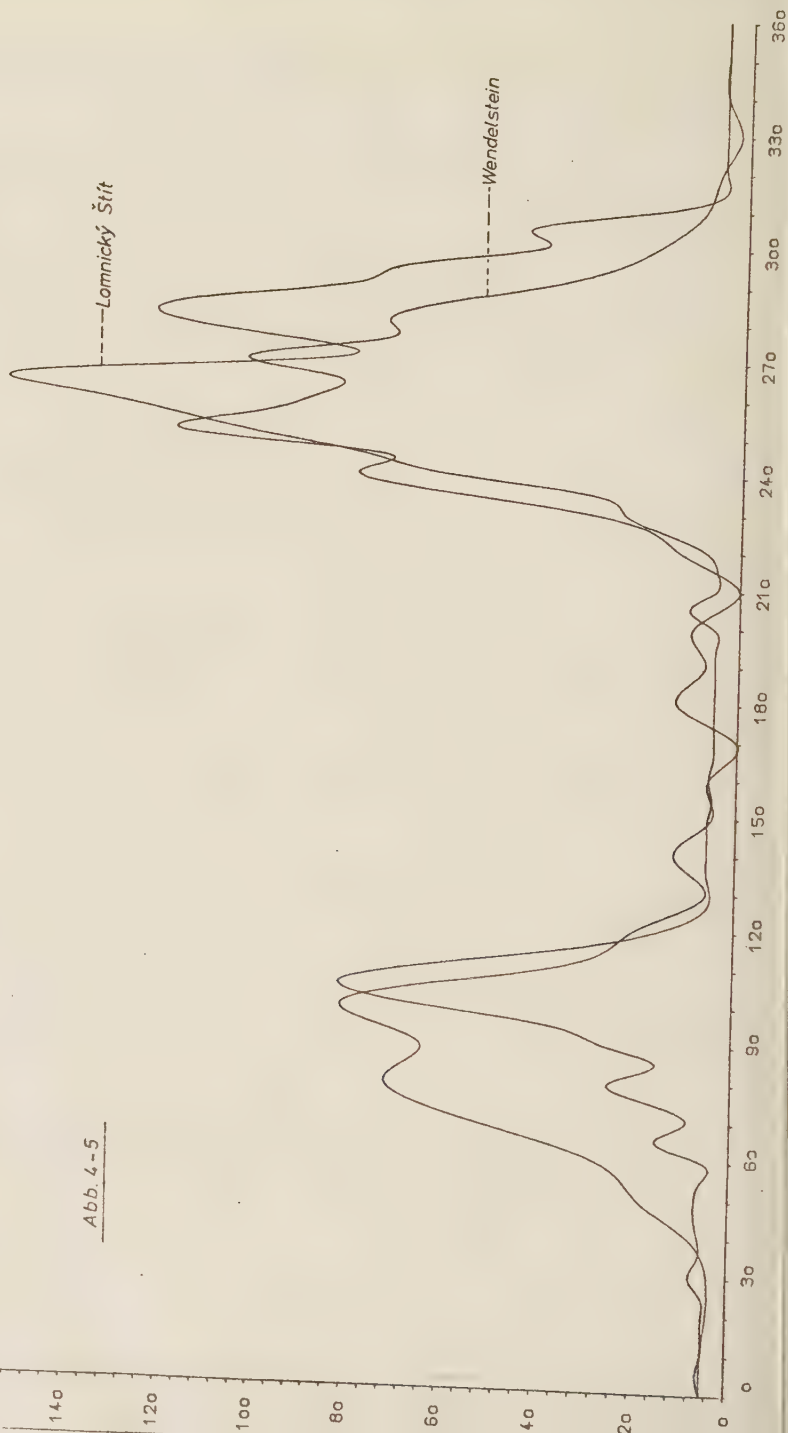
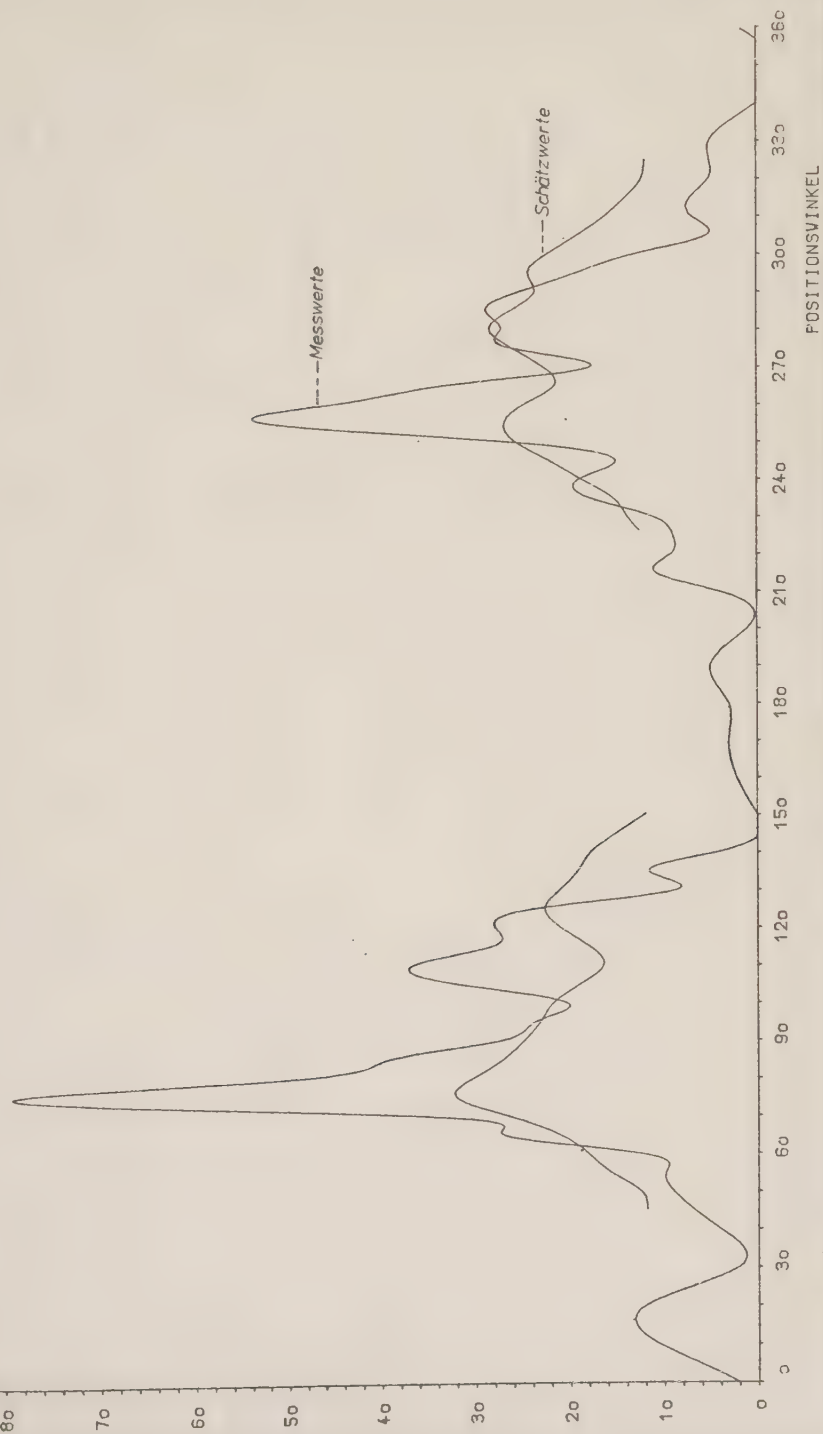


Abb. 4 - 6

Entfernung vom Sonnenrand: Meßwerte 60"
Schätzwerte - 60"



25.2 SONNENKORONA 1975 Feb 6 11.00 U.T.
ABSTAND VOM SONNENRAND : 50''

Abb. 4-7

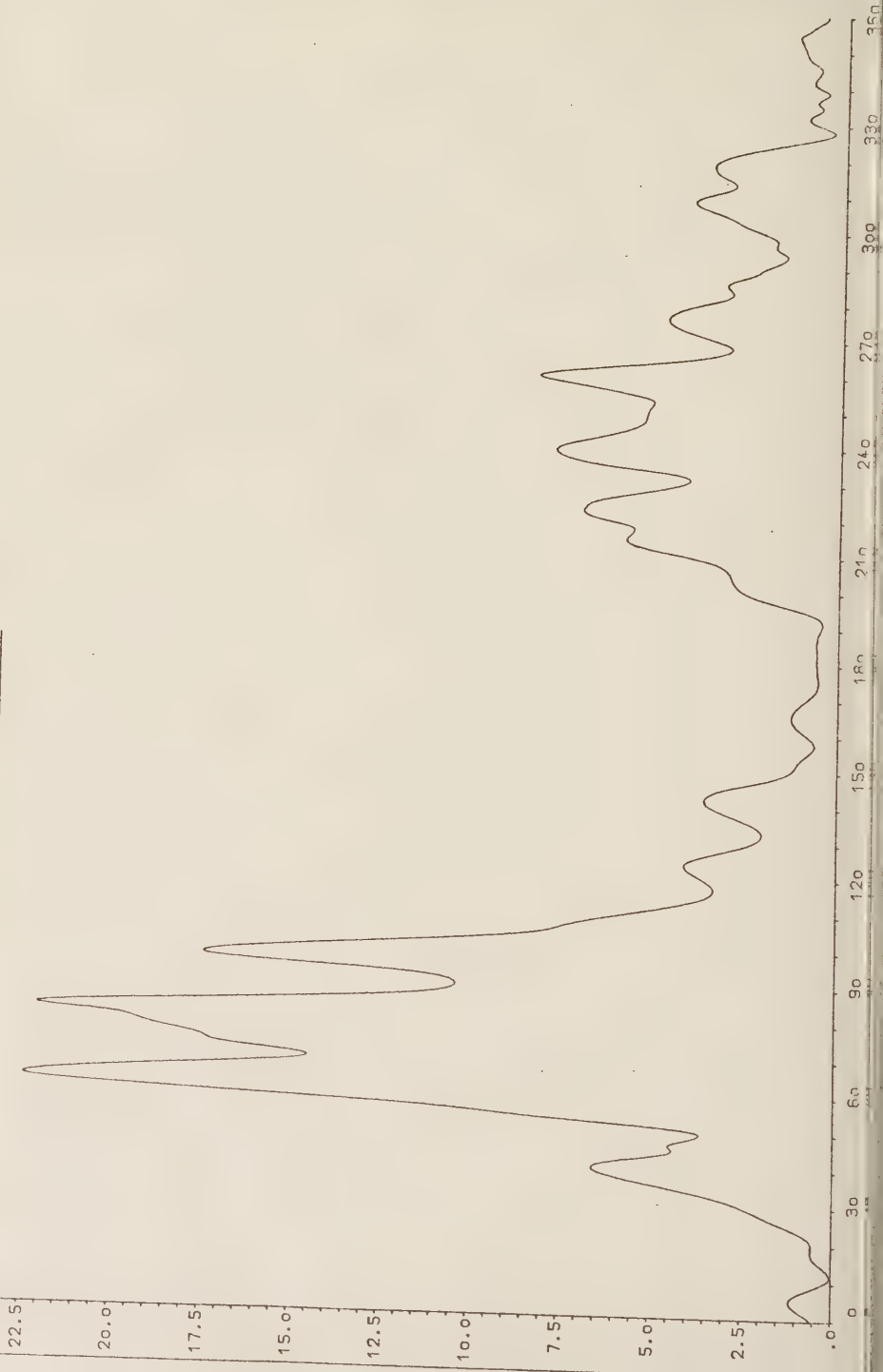
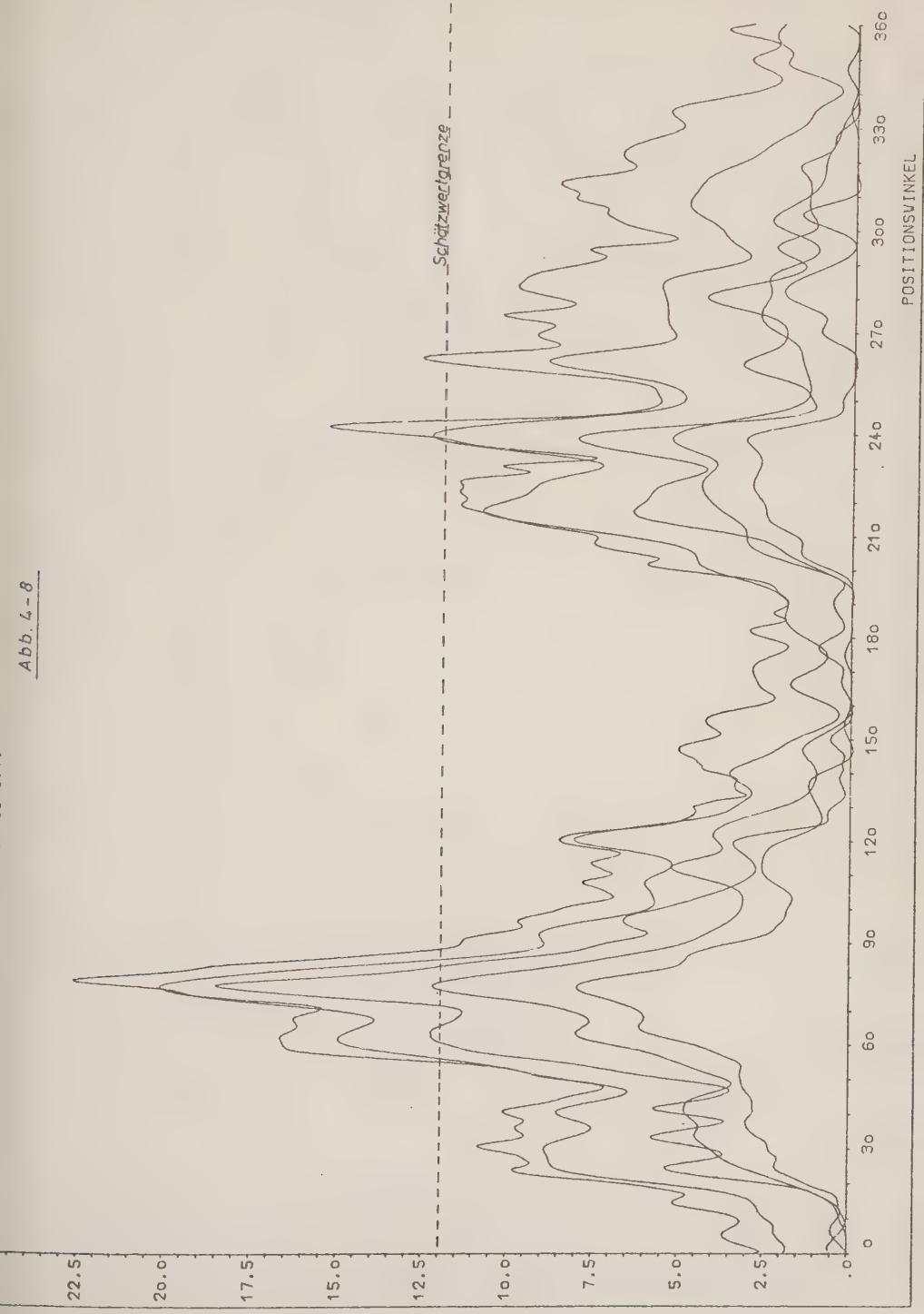
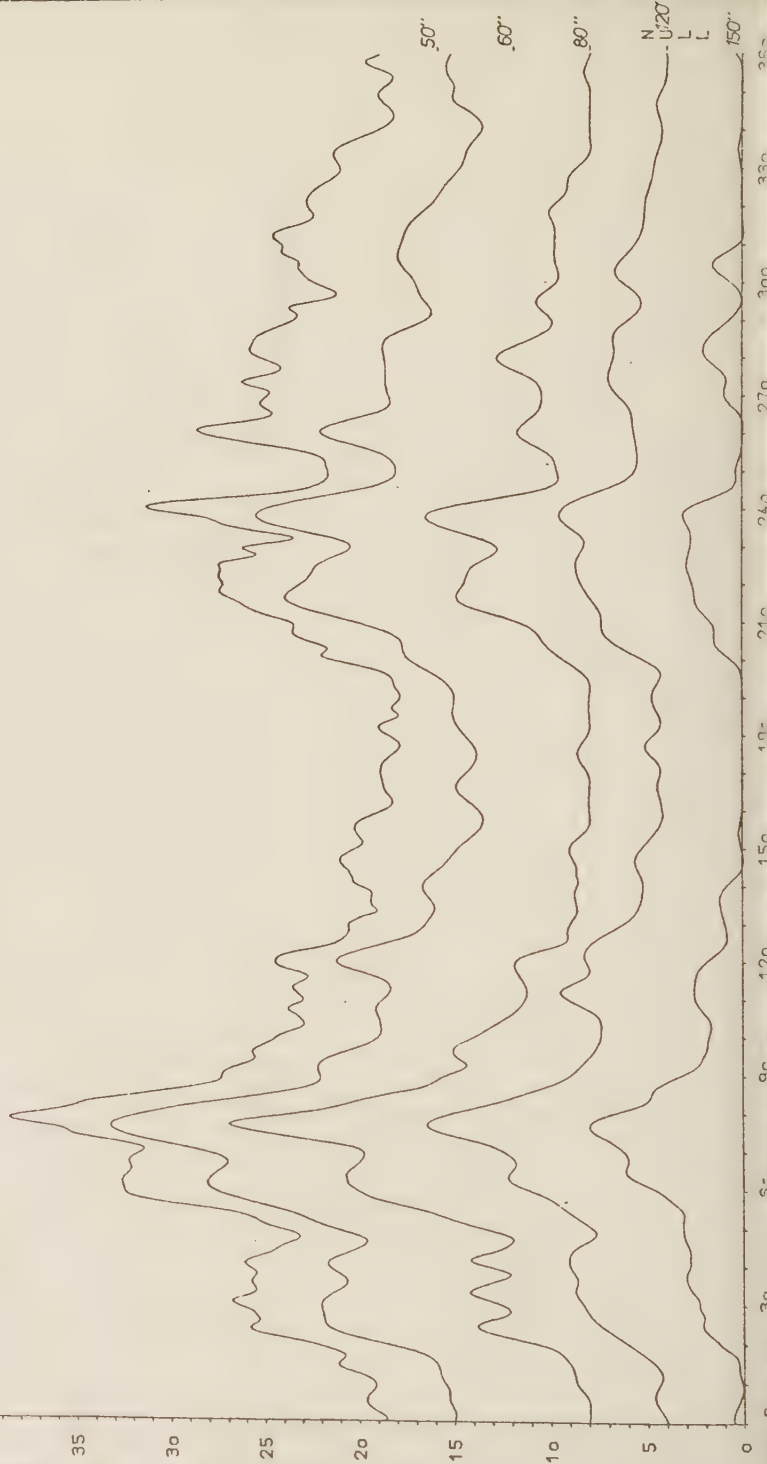


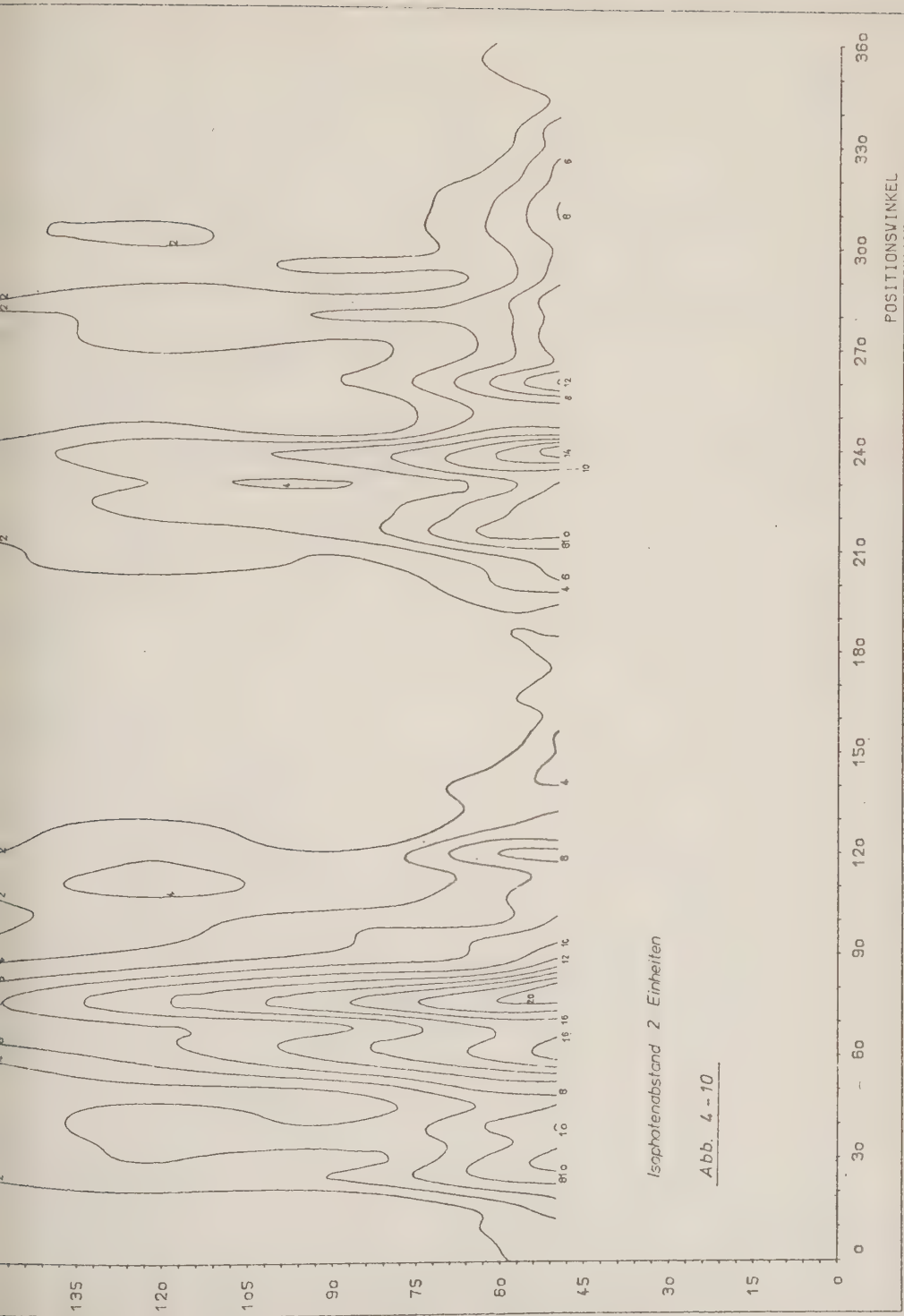
Abb. 4-8



11.00 U. I.

Abb. 4-9





25.01 *e-6 SONNENKORONA 1975 Feb 9 12:30 U.T.

Abb. 4-11

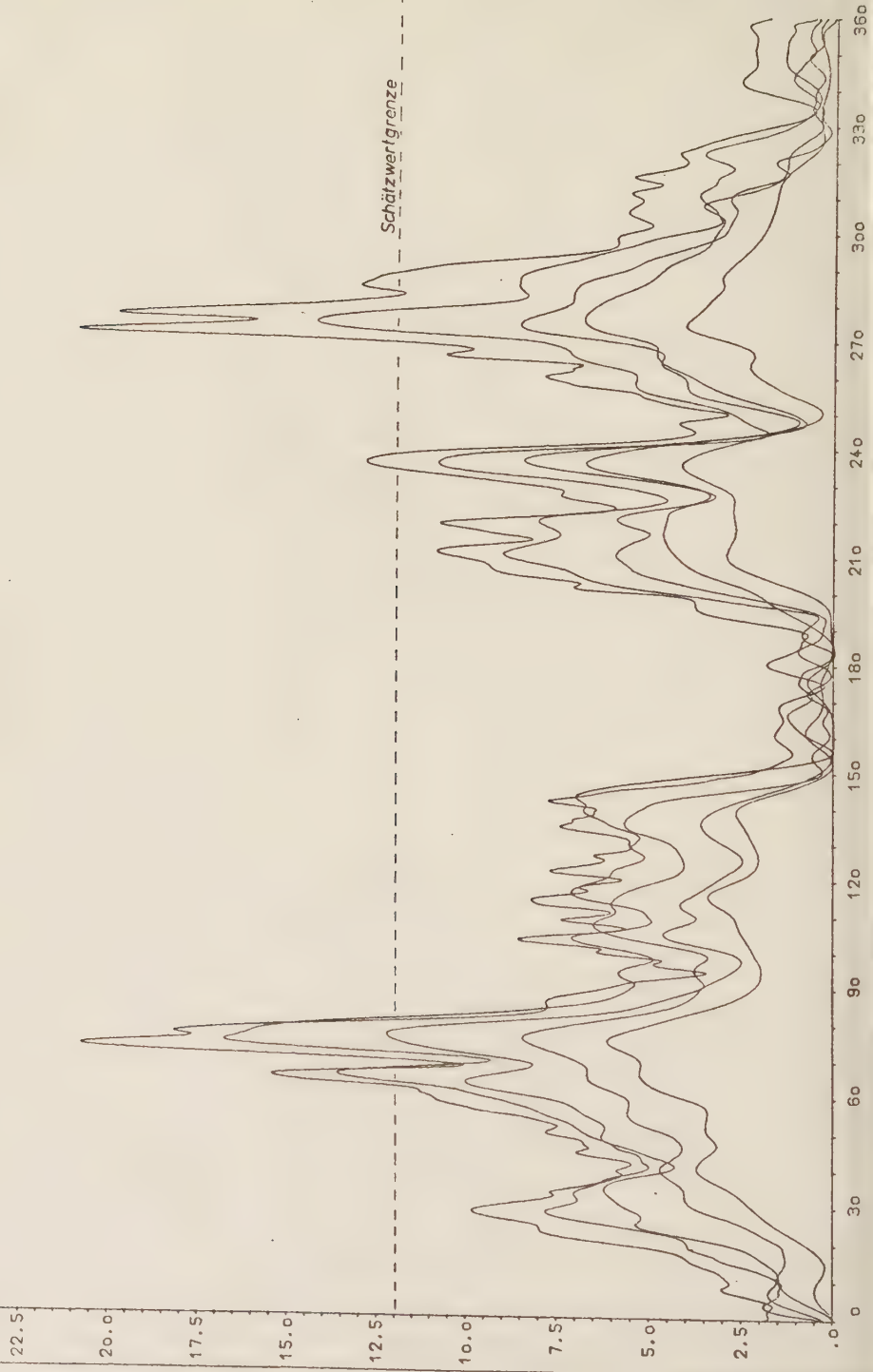
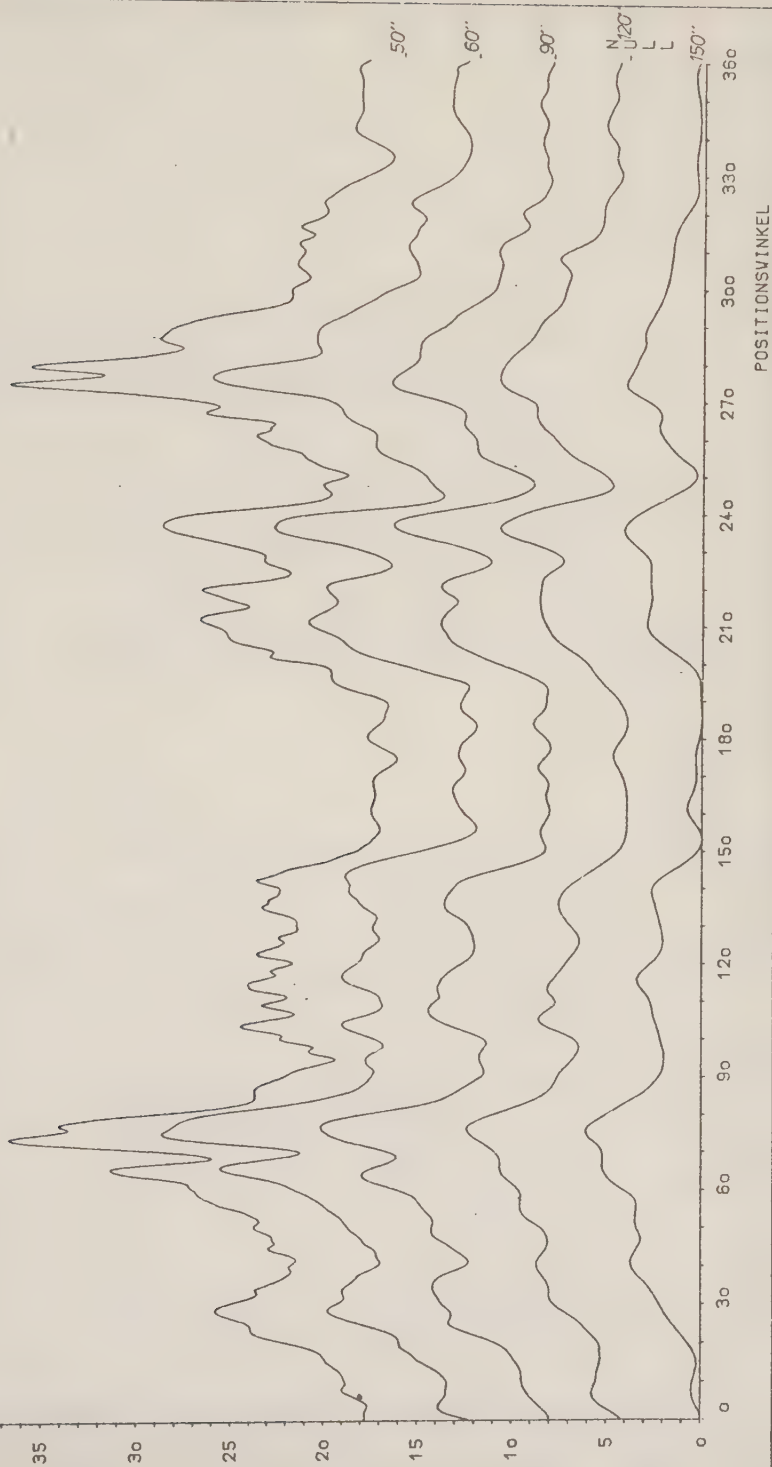
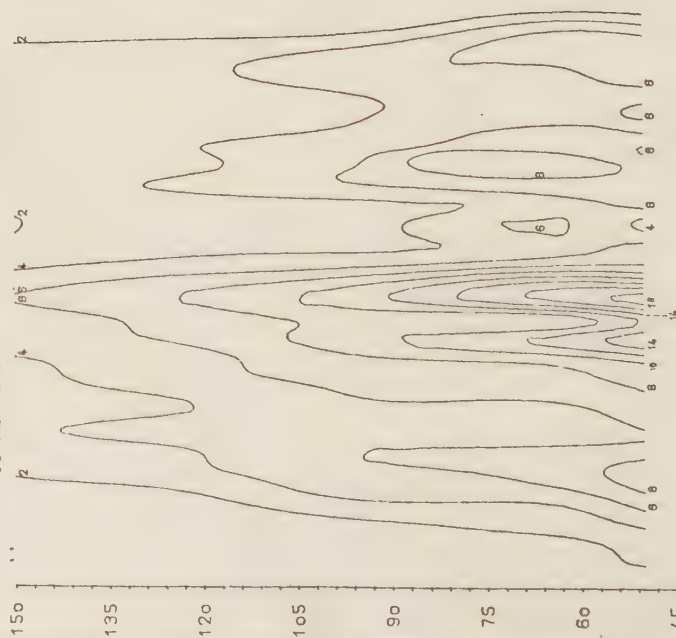


Abb. 4 - 12



SONNENKORONA 1975 Feb 9 12:30 U.T.

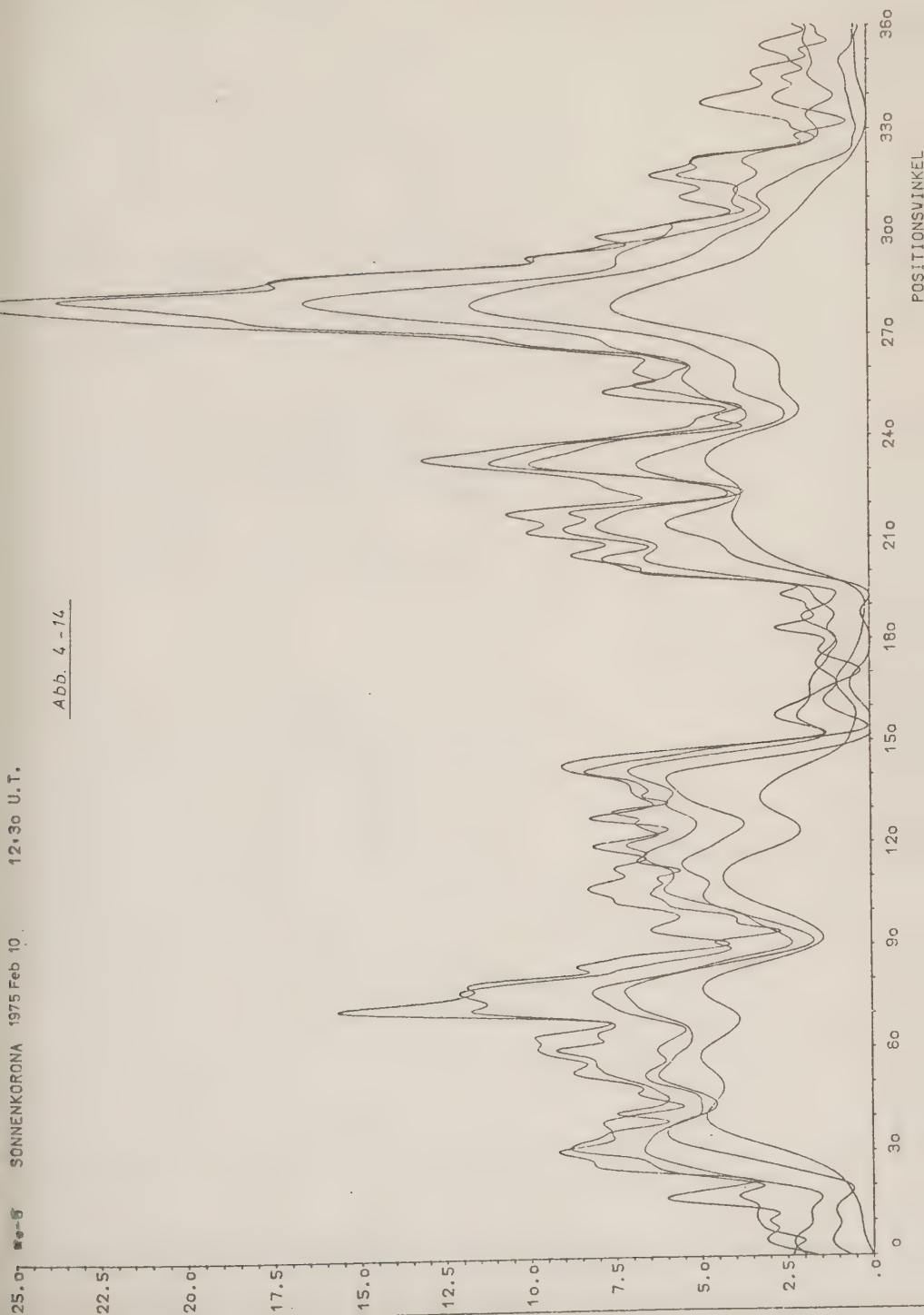


Isophotenabstand 2 Einheiten

Abb. 4-13

☉ = ☿ SONNENKORONA 1975 Feb 10. 12.30 U.T.

Abb. 4 - 16.

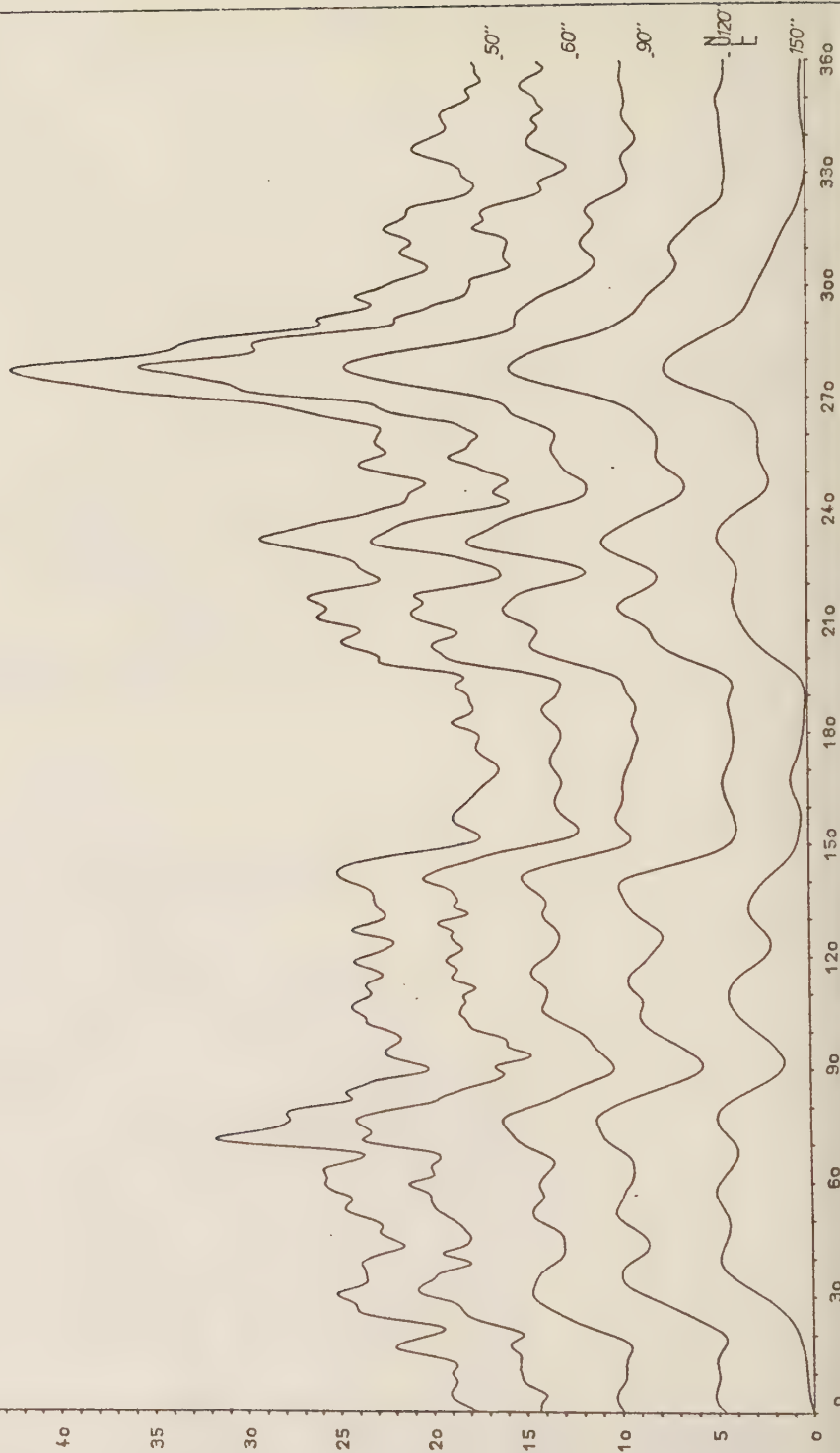


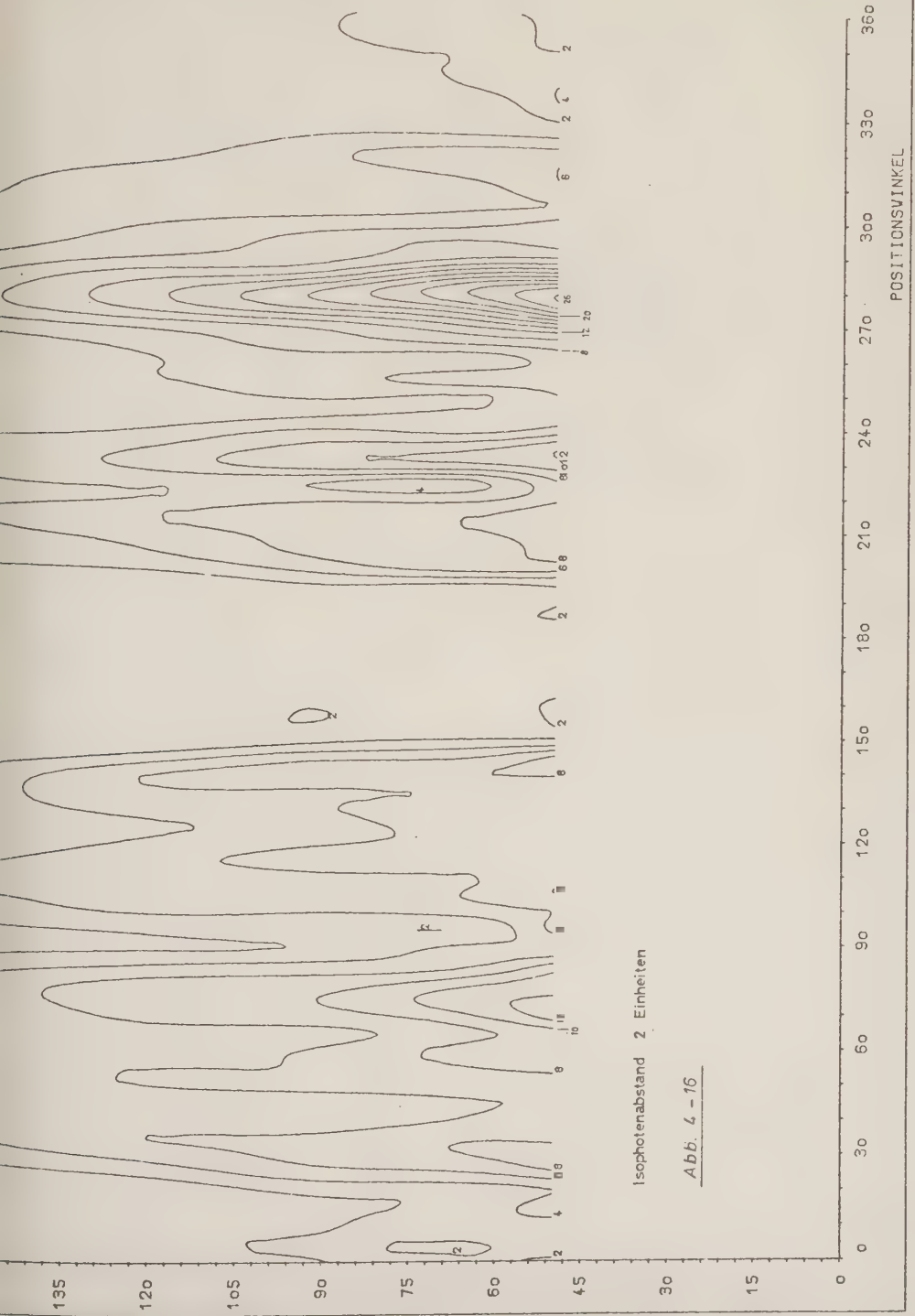
12.30 U.T.

SONNENKORONA 1975 Feb 10

8-6

Abb. 4-15





50 45 40 35 30 25 20 15 10 5 0

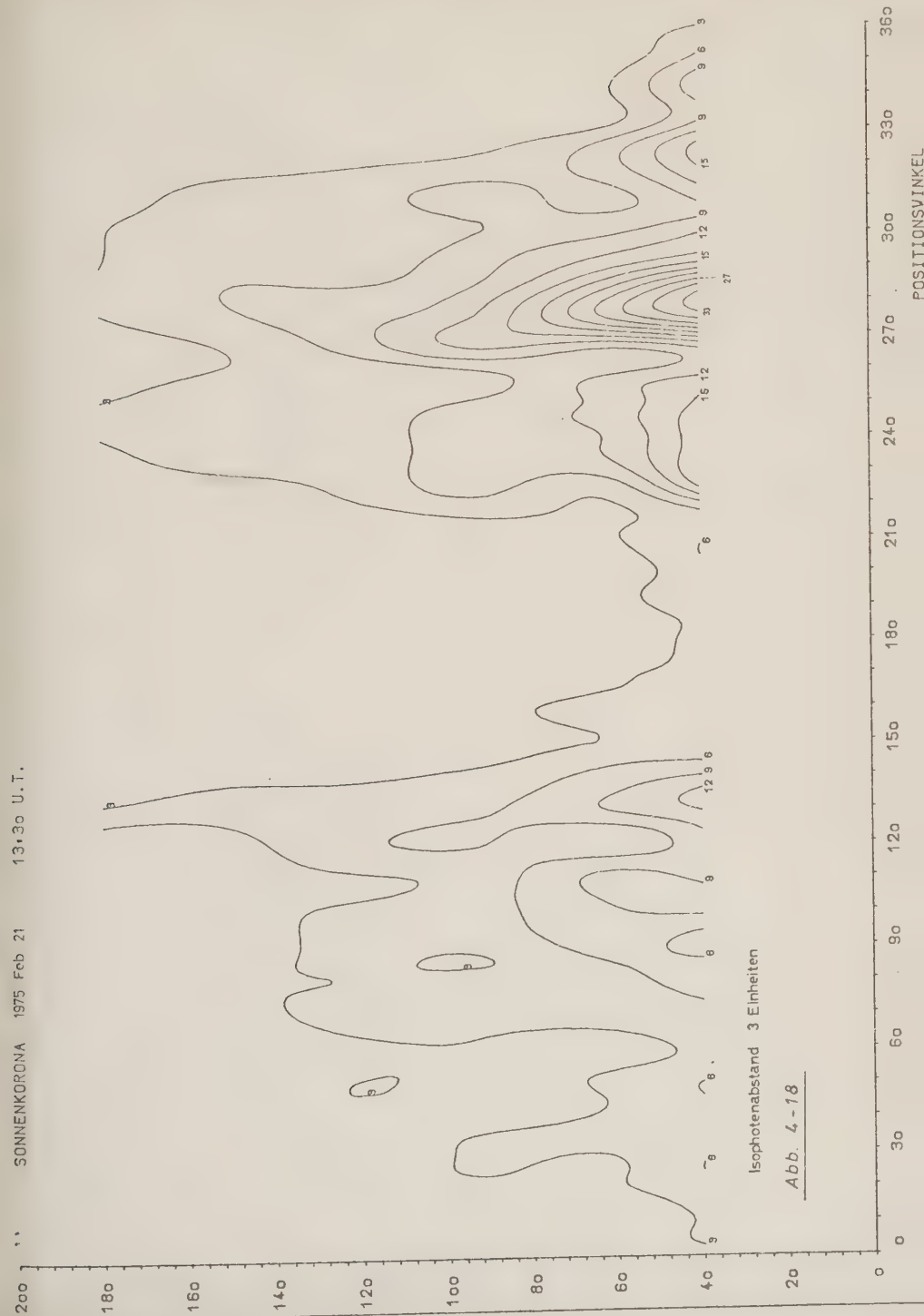
■ e-6 SONNENKORONA 1975 Feb 21

13:30 U.T.

Abb. 4-17



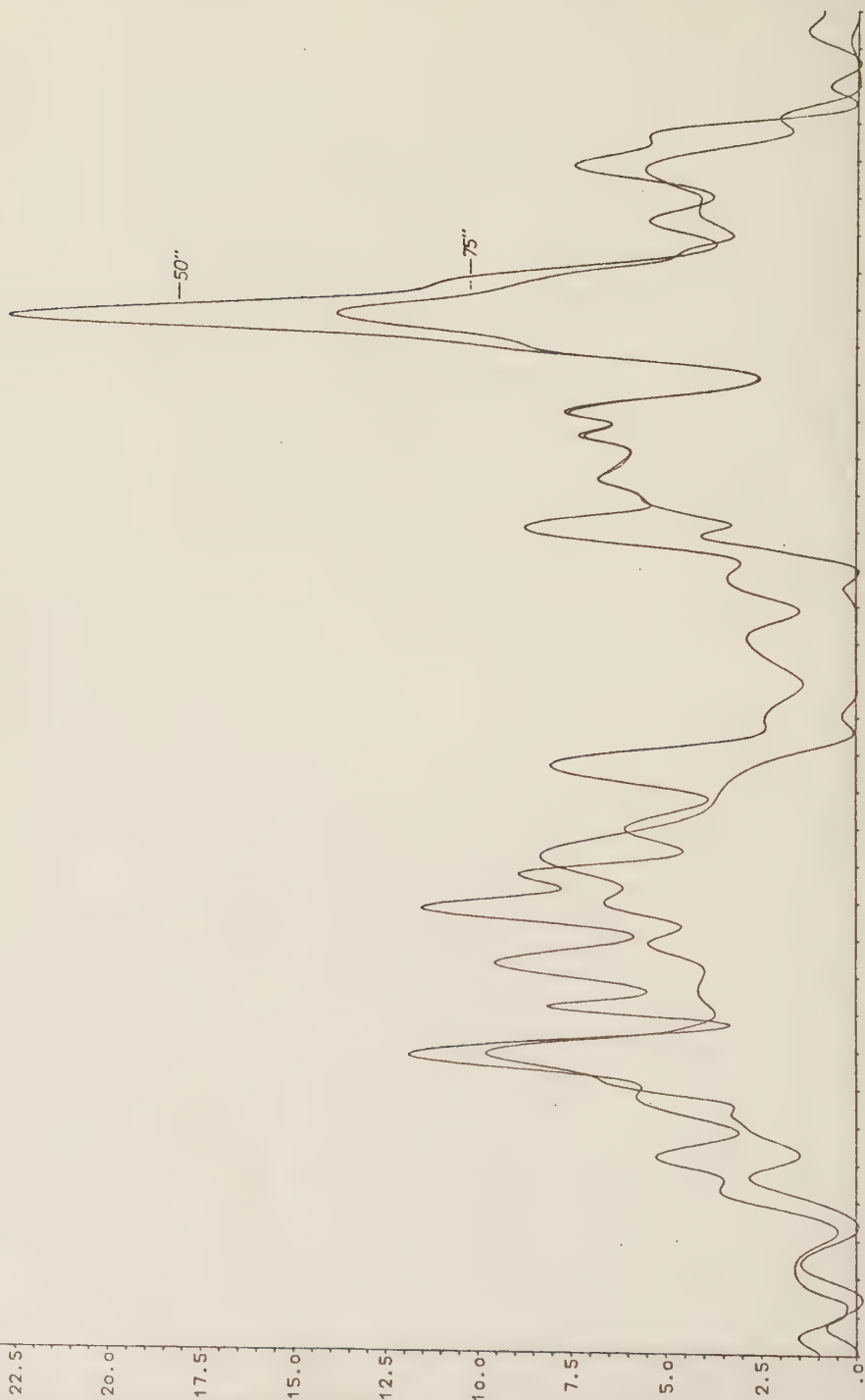
SONNENKORONA 1975 Feb 21 13.30 U.T.



25.0 22.5 20.0 17.5 15.0 12.5 10.0 7.5 5.0 2.5 0.0

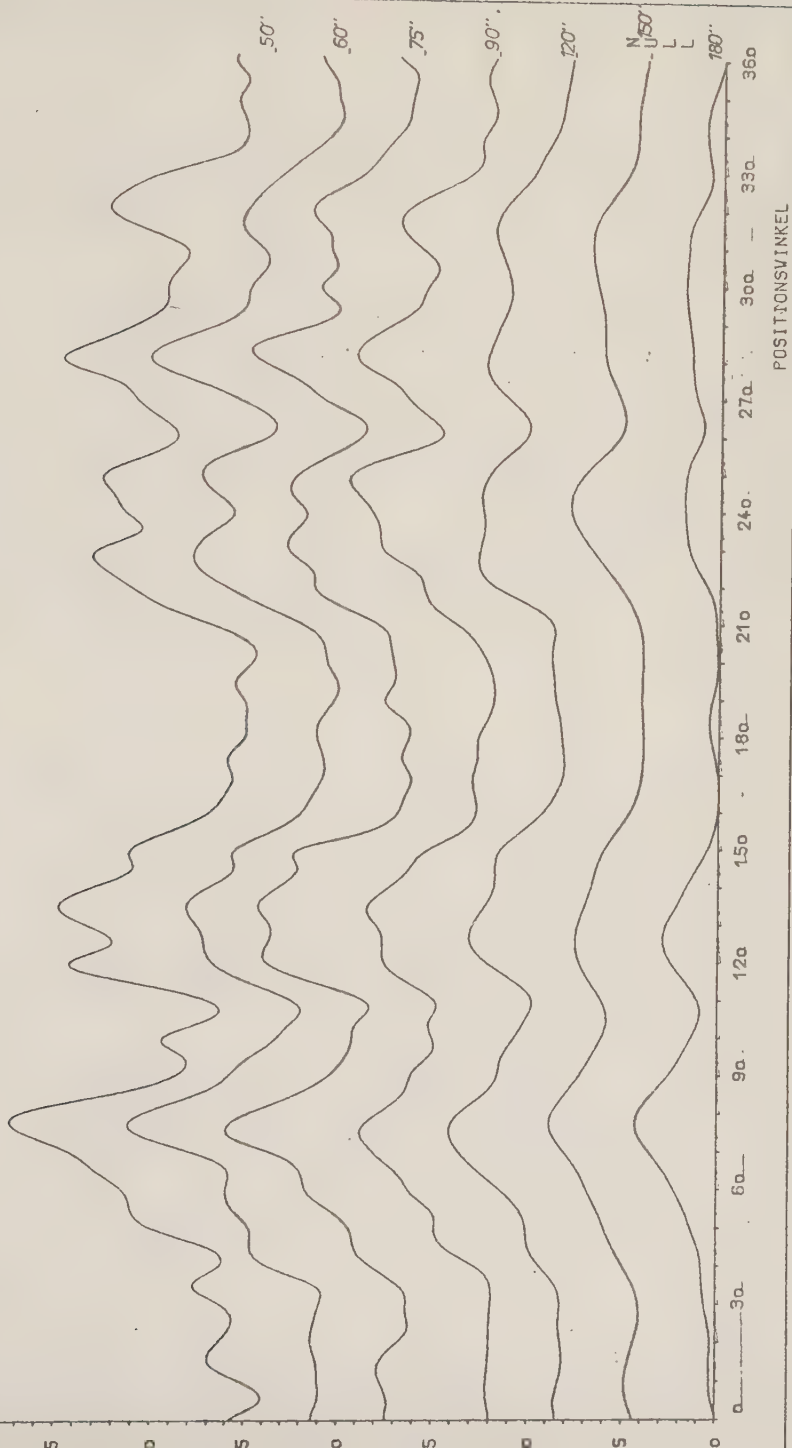
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

Abb. 4 - 19



25-6 SONNENKORONA 1975 Feb 22

13.00 U. T.



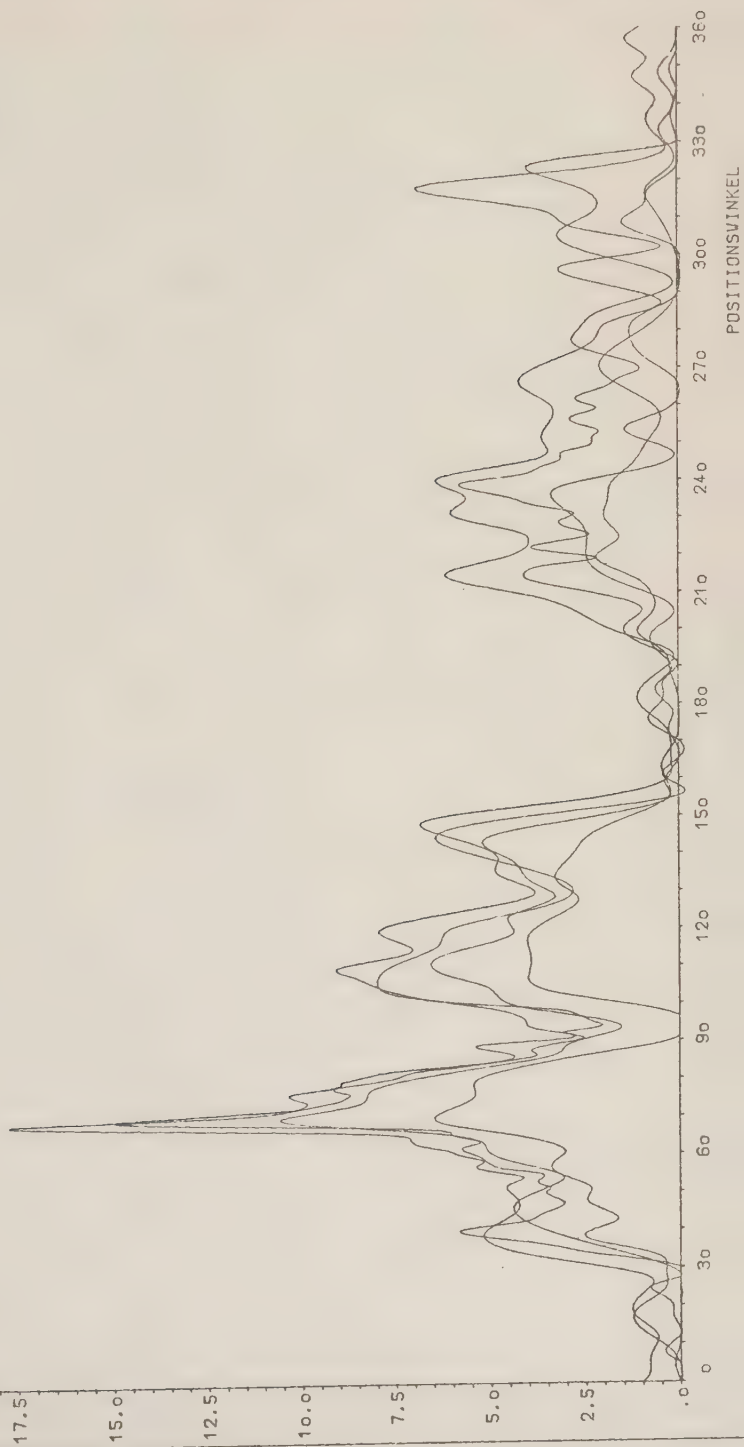
SCHEINKORONA 1975 Feb 23 11:30 U.T.



Isophotenabstand 1 Einheit

Abb. 4-21

Abb. 4 - 22



29.0 22.5 20.0 17.5 15.0 12.5 10.0 7.5 5.0 2.5 0

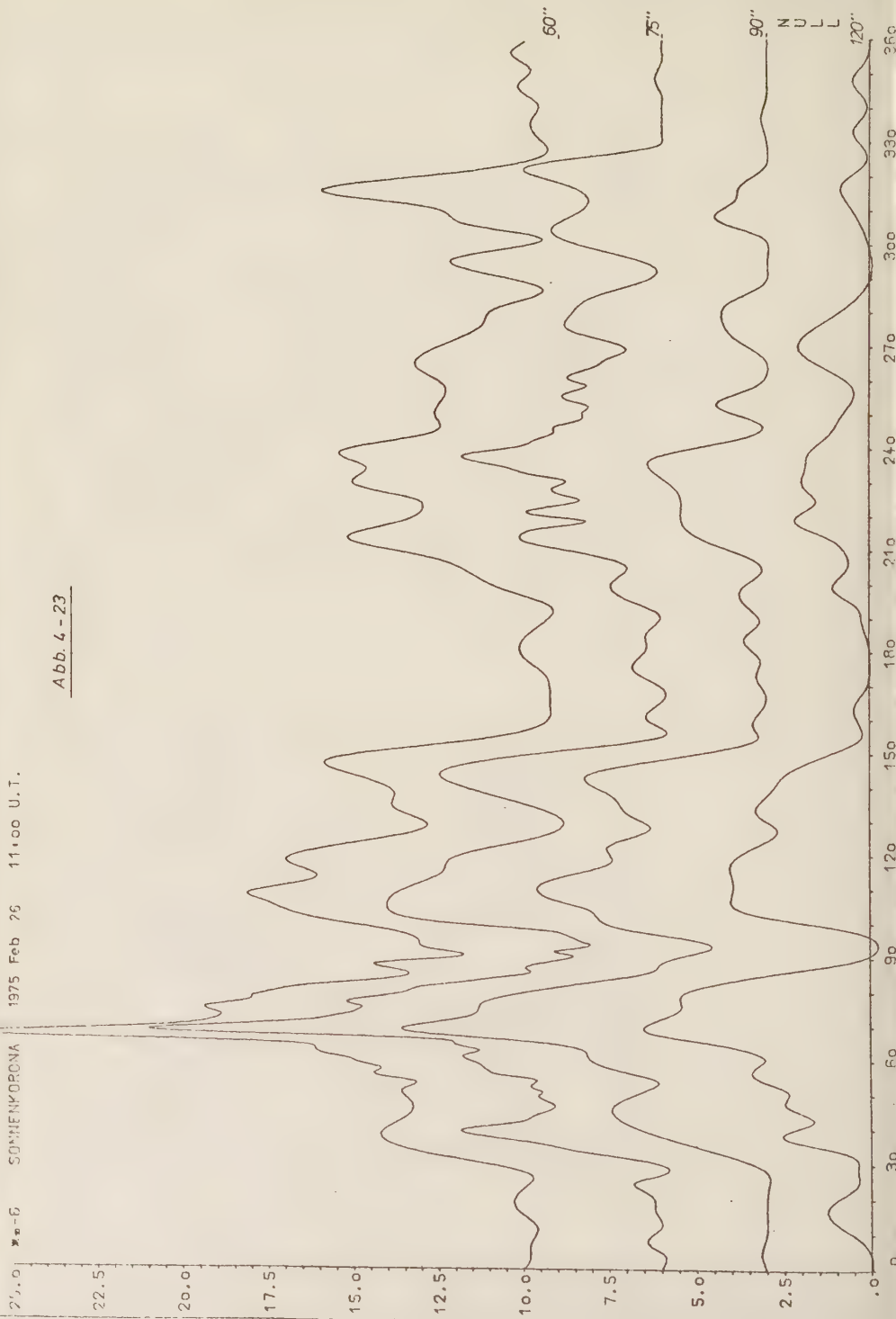
30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

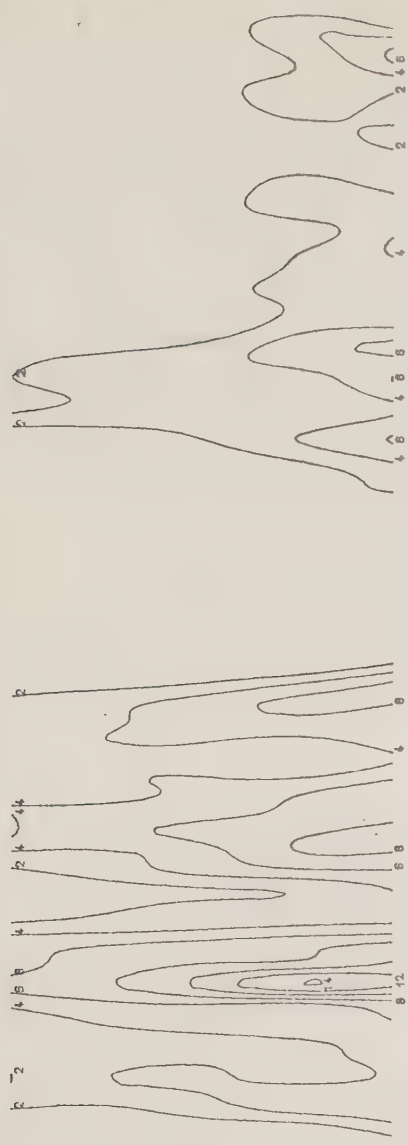
1975 Feb 26 11:00 U.T.

SONHENYORONA

29.0

Abb. 4 - 23





Isophotenabstand 2 Einheiten

Abb. 4-24

135
120
105
90
75
60
45
30
15
0

0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

POSITIONSVINKEL

5 Literatur

1. Billings, D.E., A Guide To The Solar Corona,
Academic Press (1966)
2. Ellison, M.A. and Seddon, H., MN 112 (1952), 73
3. Evans, J.W., The Solar Corona, Academic Press (1963)
4. Forschungsberichte Wendelstein, München 1952 - 1962
5. Landolt-Börnstein Band I, 6. Auflage, Springer Verlag (1965)
6. Quaterly Bulletin On Solar Activity,
Eidgen. Sternwarte Zürich
7. Unsöld, A., Der neue Kosmos, Springer Verlag (1967)
8. Voigt, H.H., Abriß der Astrophysik, Band 1 und 2,
B.I. Hochschultaschenbücher (1969)
9. Zirin, H., The Solar Athmosphere,
Blaisdell Publishing Company (1966)
10. Das TTL-Kochbuch, Texas Instruments (1972)
11. BCD-Recheneinheit TMS 0117 NC, EB 84
 Programmierbarer BCD-Rechner mit dem TMS 0117 NC, EB 85
 Texas Instruments Applikations Labor Freising

6 Abkürzungen

VR-Zähler = Vorwärts-Rückwärts-Zähler
DA-Wandler = Digital-Analog-Wandler
AD-Wandler = Analog-Digital-Wandler

Herrn Prof. Dr. P. Wellmann bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit und sein stets förderndes Interesse sehr dankbar.

Gute Ratschläge für den mechanischen Aufbau des Photometers kamen von Herrn Betriebsinspektor Körner und seinen Mitarbeitern Herrn Mittermaier und Herrn Well.

Herr Escher stellte die Rechenprogramme für die Auswertung der Meßdaten zur Verfügung.

Herr Spannagl gab wertvolle theoretische Hinweise.

Meine Kollegen am Institut fanden sich immer zu kritischen Diskussionen bereit.

Ganz besonders hilfreich waren die Mitarbeiter des Sonnenobservatoriums auf dem Wendelstein Herr Bärnbantner, Herr Lang, Herr Sitta und Herr Wiesböck.

Ich möchte allen an dieser Stelle herzlich danken.

Lebenslauf

Name: Hans Reiner Hügel

Geburtstag: 5. Mai 1941

Geburtsort: Moers/Rhein

Eltern: Dr. Robert Hügel

Dr. Annemarie Hügel geb. Colley

Schulen: 1947 bis 1952 Volksschule Schweinsberg

1952 Oberschule Steinmühle bei Marburg

1953 Istituto Giulia (deutsche Schwesternschule
Mailand)

1954 bis 1960 Deutsche Schule Mailand

Reifezeugnis vom 14. Juni 1960

Studium: Wintersemester 1960/61 bis

Sommersemester 1969 Studium der Physik

Diplomhauptprüfung für Physik am 26. Juni 1969

Thema der Diplomarbeit:

Bau und Erprobung eines radioastronomischen

Apparates für Sonnen- und Milchstraßenmessungen

Tätigkeit: Von 1969 bis jetzt wissenschaftliche Hilfskraft

an der Universitätssternwarte München

Hier entstand die vorliegende Arbeit

